

Herkko Laine

# Maalaserskannerin hankintaselvitys Helsingin rakentamispalvelu Staralle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

11.11.2013

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Herkko Laine Maalaserskannerin hankintaselvitys Helsingin rakentamispalvelu Staralle  41 sivua + 1 liite 11.11.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	palvelupäällikkö Ilkka Määttä lehtori Jussi Laari
<p>Helsingin kaupungin rakentamispalvelu Stara suunnittelee maalaserskannerin hankkimista tehostaaksensa toimintaansa. Ensisijaisena käyttötarkoituksena on tehostaa katu- ja puistoalueiden mallintamista. Tarkoituksena on myös selvittää mahdollisen Stop and Go -menetelmän käyttöönottoa tulevaisuudessa.</p> <p>Työssä perehdyin erityisesti laserskannerien Riegl VZ-400 ja Leica P-20 vertailuun ja tutkin niiden sopivuutta Staran tarpeisiin. Molemmille laitteille tehtiin samanlaiset testimittaukset, jotka selvittivät laitteiden mittauskykyä ja niiden tuottamaa aineistoa. Aineistojen tutkinnan yhteydessä tutustuin laitevalmistajien käyttämiin ohjelmistoihin, joiden käytettävyyttä selvitin yleispiirteisesti.</p> <p>Testimittauksessa molemmilla laitteilla saatiin kerätyksi laadukasta aineistoa kuivalta ja märältä asvaltilta. Eroavaisuuksia kahden skannerin kohdalla oli mittausetäisyydessä ja heijastavan pinnan vaikutuksessa skannaukseen. Testimittauksessa ilmeni myös eroavaisuuksia tähyksien käytössä ja valokuvien laadussa. Skannerien fyysisissä ominaisuuksissa, kuten koossa, painossa, vesi- ja pölytiiveydessä tai pakkasen kestävyyydessä ei ollut suuria eroavaisuuksia.</p> <p>Ohjelmisto puolella Rieglelin käyttämä RiSCAN PRO ja Leican Cyclone vaikuttivat Staran tarpeita ajatellen riittävältä. Merkittävin eroavaisuus ohjelmistopuolella oli RiSCAN PRO:n monipuoliset mahdollisuudet tulkita palautunutta signaalia ja hyödyntää tietoa esimerkiksi pistepilven harventamisessa.</p>	
Avainsanat	laserkeilaus, hankintaselvitys, maalaserkeilain

Author Title  Number of Pages Date	Herkko Laine Terrestrial Laser Scanner Statement for Stara 4 pages + 1 appendix 11 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Specialisation option	
Instructors	Ilkka Määtä, Service Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>Stara is planning to increase productivity and service. Terrestrial laser scanning was an option to fulfill the purpose. The goal of the project was to research which laser scanner would be the optional for demand. The primary function for the scanner was to enhance the modeling of streets and parklands. The purpose was also to study the potential future use of the Stop and Go method in modeling.</p> <p>The research focused on two laser scanners: Riegl VZ-400 and Leica P-20. Both scanners were tested at Pitäjänmäki, which was a test area. The purpose of the test was to determine the scanners' measuring distance and usability. Quality of the data was analyzed by using RiSCAN PRO and Leica Cyclone software. In the process, the softwares' basic tools were explored.</p> <p>Both scanners collected high-quality point clouds from dry or wet asphalt. The result of the project is that Riegl VZ-400 measures a longer distance than Leica P-20. Also, there are differences in quality of the photograph and necessity of the targets. There are no big differences between size, weight, dust- or waterproof qualities of the devices.</p> <p>RiSCAN PRO and Leica Cyclone both meet the needs of Stara. RiSCAN PRO offers better tools for filter point clouds. Especially the Full Waveform technology appears to be effective.</p>	
Keywords	Laser scanning, Terrestrial laser scanner

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helsingin rakentamispalvelu Stara	1
2.1	Staran organisaatio	1
2.2	Mittausosasto	2
3	Maalaseriskannerien historia	3
4	Laserskannerit ja niiden luokittelu	3
4.1	Laserskannerien yleinen luokittelu	3
4.2	Maalaserskannerien jaottelu	4
4.2.1	Jaottelu näkökentän mukaan	4
4.2.2	Jaottelu etäisyysmittausmenetelmän mukaan	6
5	Signaalinkäsittely	6
6	Laserluokitus ja IP-luokitus	8
6.1	Laserluokitus	8
6.2	IP-luokitus	9
7	Laserskanneritarjonta	9
8	Staran suunniteltu käyttötarkoitus	10
9	Tutkimukseen valitut skannerit	11
9.1	Riegl VZ-400	12
9.2	Leica P-20	14
10	Käyttäjäkysely	14
11	Testimittaukset	15
11.1	Suunnittelu ja toteutus	15
11.2	Valokuvaus	20
12	Ohjelmistot	22
12.1	Pisteiden tuonti ohjelmaan ja rekisteröinti	23

12.2	Pistepilvien harvennus ja käsittely	27
12.3	Maastomallit ja vektorointi	29
12.4	Pistepilven värjäys	30
12.5	Mittausetäisyyden tutkiminen	32
13	Yhteenveto	39
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Atomitien pituuspoikkileikkaus	

## 1 Johdanto

Laserskannaus on uusi, noin 15 vuotta käytössä ollut mittausmenetelmä maanmittauksessa. Tänä aikana mittauslaitteet ja ohjelmat ovat kehittyneet voimakkaasti, ja niiden hinnat ovat laskeneet. Laitteen hankinta kiinnostaa Helsingin rakentamispalvelu Staraa, koska niillä voidaan kerätä yksityiskohtaista tietoa nopeasti.

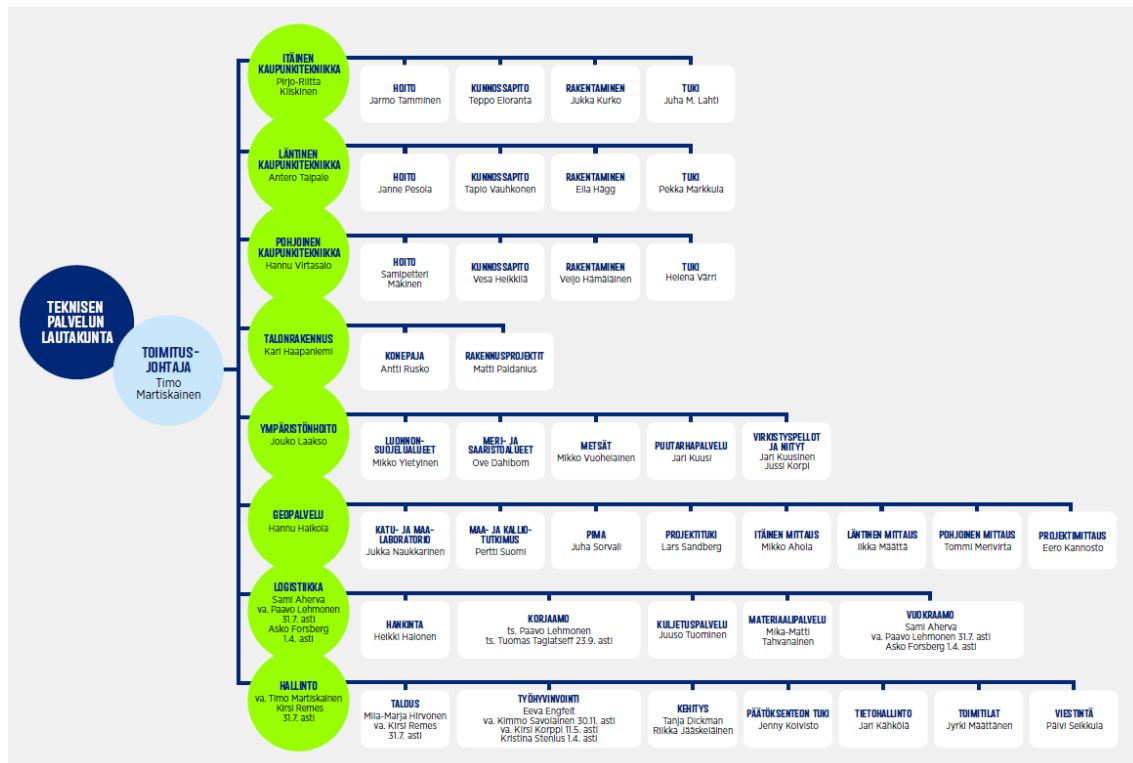
Työn tarkoituksena on selvittää, minkälainen laite sopii parhaiten Staran tarpeisiin ja minkälaisia asioita sen hankinnassa tulee ottaa huomioon. Työn alussa perehdytään laserskannauksen teoriaan ja kerrotaan eri tekniikoiden suomista mahdollisuuksista ja rajoituksista. Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin kahden parhaiten soveltuvan laitteen testimittaukset, joista saatuja tuloksia analysoidaan työn loppuosassa.

## 2 Helsingin rakentamispalvelu Stara

### 2.1 Staran organisaatio

Helsingin kaupungin rakentamispalvelu Stara toimii rakentamisen, ympäristönhoidon ja logistiikan toimijana. Historiallisesti se juontaa alkunsa jo vuonna 1878 perustettuun Helsingin rakennuskonttoriin. Omaksi virastoksi se perustettiin vuonna 2009, ja Stara-nimellä se on toiminut vuodesta 2010 lähtien. Staran toimintaa ohjaa ja valvoo tekninen lautakunta. Organisaatiossa toimii kahdeksan eri yksikköä: geopalvelu, logistiikka, talonrakennus, ympäristöhoito sekä itäinen, läntinen ja pohjoinen kaupunkitekniikka. [1; 3.] Organisaatio on esitetty kuvassa 1.

Staran liikevaihto oli vuonna 2012 noin 240 miljoonaa euroa, ja työntekijöitä oli vähän alle 1 600. Kesäkaudeksi työntekijöiden määrä nousi yli 2 000:een. Suurimpia asiakkaita ovat rakennusviraston katu- ja puisto-osasto, kiinteistöviraston tilakeskus, HKR-rakennuttaja sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut. [1; 2.]



Kuva 1. Staran organisaatiokaavio [6]

## 2.2 Mittausosasto

Mittausosasto jakautuu neljään mittapiiriin: itäiseen, läntiseen ja pohjoiseen mittaukseen sekä projektimittaukseen. Mittapiirien työtehtäviin kuuluvat maastokartoitukset, suunnitelmien maastoon merkitseminen, määrälaskenta sekä maisemasuunnittelun ja viherrakentamisen mittauspalvelut. [1]

Mittauskalustona käytetään Trimblen takymetrilienttimia (S6 ja VX) ja GPS-laitteistoa (R8). Mittausaineistoa käsitellään MicroStation-ohjelmistolla ja siinä toimivilla Terra-sovelluksilla. VX:n tuottamia laserskannausaineistoja käsitellään Trimblen RealWorks-ohjelmalla. [1]

### 3 Maalaseriskannerien historia

Ensimmäiset maalaserskannerit ovat tulleet kaupallisille markkinoille 1990-luvun alussa, ja vuosituhaten vaihteessa markkinoilla oli jo useita laserskannereita. Alussa laserskannerit toimivat pulssilasertekniikalla. Maalaserskannauksen varhaisimpia kehittäjiä olivat Mensi, Riegl, Zoller + Fröhlich sekä Callidus.

### 4 Laserskannerit ja niiden luokittelu

Laserskanneri on mittalaite, joka mittaa kohteita koskematta niihin. Mittalaite lähettää mitattavaan kohteeseen laserpulsseja tai jatkuvaa lasersädettä. Lähetetty mittapulssi voi kohdata joko yhden kohteen, josta se kaikuu takaisin, tai se voi kaikua takaisin useamman kohteen osakaikuna. Skanneri laskee kohteen ja skannerin välisen etäisyyden sekä säteen vaaka- ja pystykulmien perusteella kohteelle z-, y- ja z-koordinaattipisteet. Etäisyys pystytään määrittämään, kun tiedetään laserin nopeus ja matkaan kulunut aika eli ( $s = v \times t$ ). Koordinaatit muodostavat kohteesta kolmiulotteisen pistepilven, josta voidaan tuottaa haluttu lopputuote, esimerkiksi maastomalli. Pistepilvessä voi olla miljoonia tai jopa satoja miljoonia pisteitä. Mittausmenetelmä eroaa takymetri- tai GPS-mittauksista siinä, ettei käyttäjä suorita yksittäisiä havaintoja vaan mitattava kohde mitataan kohteen pinnalta ennalta määrätyllä pistetiheydellä. Laitteen hyötynä ovat sen nopea tiedonkeräyskyky sekä mahdollisuus suorittaa mittaus hankalasti saavutettavista tai vaarallisista kohteista. [11; 7; 19.]

#### 4.1 Laserskannerien yleinen luokittelu

Laserskannerit voidaan jakaa neljään luokkaan:

- Kaukokartoituslaserskanneria käytetään lentokoneissa, helikoptereissa tai avaruusaluksissa. Niillä mitataan kohteita 0,1–100 km:n etäisyydeltä. Tarkkuusluokka on yleensä <10 cm. [11]



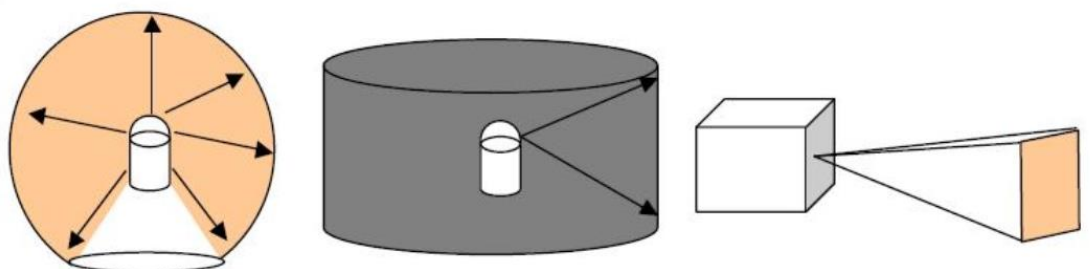
- Mobiililaserskannerit ovat ajoneuvoon kiinnitettviä laitteita, joilla päästään parempaan tarkkuuteen kuin kaukokartoituslaserkannereilla. Mobiililaserskannaus on tavallista maalaserskannausta tehokkaampi tapa kerätä aineistoa. Mittaustarkkuus on 1–3 cm. [11]
- Maalaserskannereita eli terrestriaalisia laserskannereita käytetään sekä sisä- että ulkotilamittauksissa. Yleensä mittausetäisyydet ovat 0–6 km. Mittaustarkkuus heikkenee matkan kasvaessa. Alle 100 metrin etäisyydellä tarkkuus on parhaimmillaan joitakin millimetrejä. [11; 19.]
- Teollisuuslaserskannereita käytetään tarkkoja mittauksia vaativissa kohteissa. Etäisyydet ovat lyhyitä ja kohteista saadaan tuloksia alle 1 mm:n tarkkuudella. [11; 19.]

#### 4.2 Maalaserskannerien jaottelu

Maalaserskannerit voidaan jakaa kahdella eri tavalla: mitattavan näkökentän tai etäisyysmittausmenetelmän mukaan.

##### 4.2.1 Jaottelu näkökentän mukaan

Näkökenttämenetelmiä on neljä: kupolimainen, panoraamainen, keilamainen ja optiseen kolmiomittaukseen perustuva. Toimintaperiaatteista kolme ensimmäistä on esitetty kuvassa 2 ja optisen kolmiomittauksen periaate kuvassa 3. [11; 19.]



Kuva 2. Laserskannerin kupolimainen, panoraamainen ja keilamainen toimintaperiaate [11]

### Kupolimainen mittausmenetelmä

Kupolimaisesti mittaavilla skannereilla pystytään mittaamaan pallomaisesti skannerin ympärillä oleva tila lukuun ottamatta skannerin alapuolista osaa. Tämä menetelmä soveltuu hyvin pienten tilojen, kuten huoneiden, mittauksiin. Lyhyen matkan skannerit ovatkin pääsääntöisesti kupolimaisesti mittaavia laitteita. [11]

### Panoraamainen mittausmenetelmä

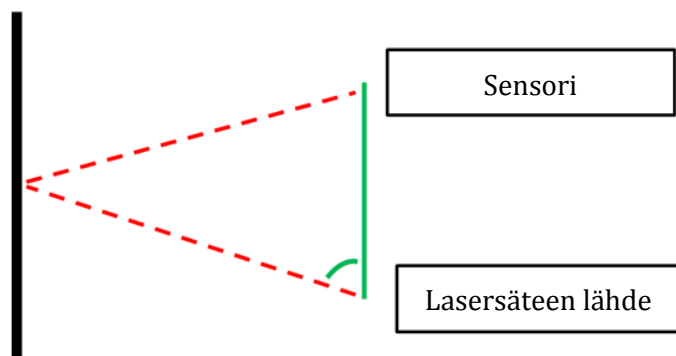
Panoraamainen mittausmenetelmä on käytössä tyypillisesti maastomittauksessa tai pitkille mittausetäisyyksille suunnitelluissa laserskannereissa. [19]

### Keilaimainen mittausmenetelmä

Keilamainen mittausmenetelmällä skanneri kohdistetaan rajatulle alueelle. Menetelmä sopii yksityiskohtaisten kohteiden keilaamiseen. [27]

### Optiseen kolmiomittaukseen perustava laser

Optiseen kolmiomittaukseen perustuvaa laseria käytetään tarkkoihin teollisuudenmittauksiin. Tässä menetelmässä skanneri lähettää kohteen pintaan laserpisteen tai -viivan, jonka takaisinheijastus rekisteröityy sensorille. Mittauspiste, laserlähde ja sensori muodostavat kolmion, jonka tiedoilla saadaan mitattavalle kohteelle koordinaatit. Optisen kolmiomittauksen rajoituksena ovat suuret katvealueet. [5]



Kuva 3. Kuva esittää optisen kolmiomittauksen periaatteen.

#### 4.2.2 Jaottelu etäisyysmittausmenetelmän mukaan

Etäisyysmittausmenetelmän mukaan maalaserskannerit voidaan jakaa kahteen ryhmään: pulssilasermenetelmällä ja vaihe-eromenetelmällä toimiviin skannereihin.

##### Pulssilaser

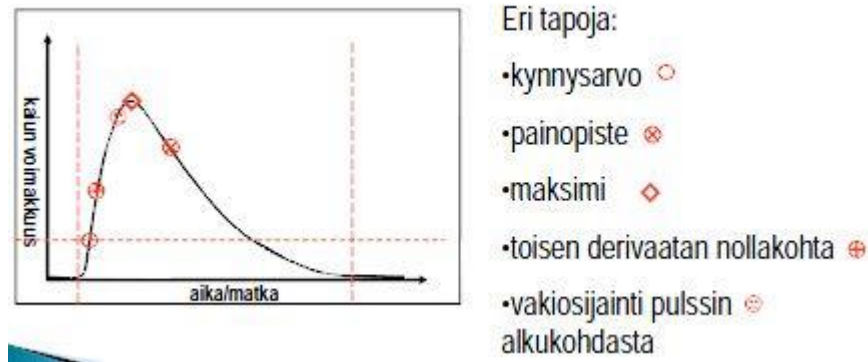
Pulssilaser lähettää katkonaista lasersädettä kohteeseen. Kohteen etäisyys voidaan laskea lasersäteen edestakaisen kulkuajan perusteella. Tämän menetelmän etuna on suuri mittausväli, eli mittauksia voidaan suorittaa muutamasta metristä kilometreihin asti. Mittausetäisyyden määrittäminen riippuu laitteen pulssin tehosta ja toistotaajuuden määrästä enimmäiskulkuajasta. Ennen tässä menetelmässä on ollut rajoitteena havaintojen hidas toistotaajuus. Nykyisin mittausnopeudet ovat samaa luokkaa vaihe-erolaserskannereiden kanssa. [11; 19.]

##### Vaihe-erolaser

Vaihe-erolaser lähettää kohteeseen jatkuvaa signaalia, jonka intensiteetti on moduloitu siniaalloilla tai monimuotoisimmilla aallonmuodoilla. Etäisyys määritetään, kuten pulssilaserissakin, lähetetyn ja vastaanotetun signaalin aikaerolla. Vaihe-erolaserilla on saatu huomattavasti suurempi toistotaajuus kuin pulssilaserilla. Nykyään molemmilla laitteilla voidaan mitata jopa 1 000 000 pistettä sekunnissa. Mittausetäisyys on tavallisesti jäänyt pulssilasereita lyhyemmäksi. Normaalisti mittausetäisyys on alle 100 metriä ja parhaimmillaan vähän sen yli. [11; 21.]

## **5 Signaalinkäsittely**

Lähetetty laserpulssi ei välttämättä osu kohteeseen kokonaisena vaan jakautuu matkalla kohdattujen esineiden mukaan. Tällöin laite vastaanottaa useamman kuin yhden paluusignaalin. Suurimmassa osassa laitteita pisteen sijainti määräytyy laitevalmistajan määrittämien algoritmien mukaan. [9; 21.] Erilaisia tapoja tulkita kaikua on esitetty kuvassa 4.

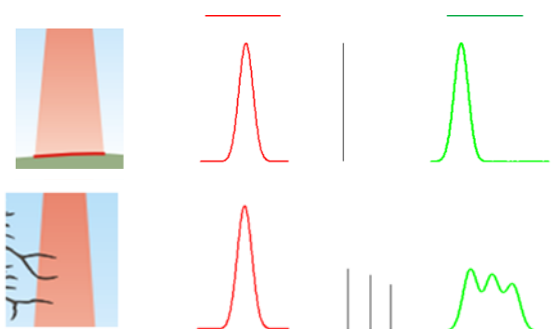


Kuva 4. Kuvassa on esitetty erilaisia tapoja tulkita palautunutta kaikua [9]

Takaisin sironnutta kaikua voidaan myös käsitellä digitaalisesti. Tämän tekniikan nimi on täyden aallonmuodon tekniikka (eng. Full Waveform tai Waveform Digitising). Kaiku näkyy digitaalisena muotona, jossa aikaleiman avulla voidaan havaita signaalin kohtaamia esineitä. [9]

Riegl ja Leica molemmat käyttävät täyden aallonmuodon tekniikkaa. Rieglin käyttämä englanninkielinen nimi on Full Waveform, jolla pistepilven käsittelyssä pystytään luokittelemaan ja hyödyntämään halutut kaiun osat. Leica käyttää omasta tekniikastaan nimitystä Waveform Digitising. Leican menetelmällä yksi mittaus saadaan monen mittauksen analysoinnin lopputuloksena. [9]

Full Waveform -tekniikalla voidaan selvittää mitattava materiaali. Tällä hetkellä on meillä lupaava tutkimustyö, jossa pyritään selvittämään, voiko täyden aallonmuodon tekniikkaa hyödyntää kivilajien määrittämiseen. [18]



Kuva 5. Kuvat esittävät, miltä palautunut kaiku näyttää digitaalisessa muodossa Ylemmässä kuvassa näkyy tasaiselta pinnalta saatu kaiku. Alempi kuva esittää tilannetta, jossa signaali on kohdannut useamman objektin matkansa aikana. Kohdatut objektit näkyvät palautuksessa signaalissa piikkeinä. [8]

## 6 Laserluokitus ja IP-luokitus

### 6.1 Laserluokitus

Lasersädetä lähettävät laitteet jaetaan seitsemään turvallisuusluokkaan: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Laser on sitä vaarallisempi ihmiselle, mitä suurempi luokka laitteessa on. [12]

Luokkaan 1 kuuluvissa laserlaitteissa säteen teho on niin heikko, että se ei aiheuta vaaraa normaalissa käyttötilanteessa, tai sitten laite on rakennettu niin, että lasersäde kulkee vain laitteen sisällä pääsemättä ulos. Laitteen sisälle koteloitu laser voi kuitenkin olla niin voimakas, että se kuuluu ylempään turvallisuusluokkaan. Näin on esimerkiksi CD-soittimissa. Tällaisten laitteiden käyttöohjeissa on varoitus, ettei suojakotelo saa avata. Lasten lelut saavat olla korkeintaan luokan 1 laserlaitteita.

Luokkaan 2 kuuluvat laserit tuottavat vain näkyvää valoa ja niiden maksimi ulostuloteho on 1 mW (milliwatti). Yleensä silmän räpäytys suojaa silmän. Tähän luokkaan kuuluvan laserin säteeseen tuijottaminen voi kuitenkin vaurioittaa silmää. Tehokkaimmat Suomessa sallitut osoitinlaserit eli laserpointterit, samoin kuin kouluissa opetuskäytössä olevat laserit, kuuluvat tähän luokkaan.

Luokkiin 1M ja 2M kuuluvien laserlaitteiden säde joko hajaantuu voimakkaasti tai se on yhdensuuntainen, mutta suhteellisen leveä jo laserin lähtöaukossa. Luokkien 1M ja 2M laserien säteeseen katsominen voi aiheuttaa vaaraa vain, kun käytetään säteilyä keräävää optiikkaa, kuten kiikaria tai suurennuslasia.

Luokkaan 3R kuuluvat laserit ovat hieman suurempitehoisia kuin luokkien 1 ja 2 laitteet. Näkyvän valon alueella teho on maksimissaan 5 mW (milliwattia). Suoraan osuva tai sileästä pinnasta heijastunut säde voi aiheuttaa pysyvän vaurion silmässä. Tähän luokkaan kuuluvat tehokkaimmat ammattikäyttöön tarkoitetut rakennuslaserit ja tähtäinlaserit.

Luokkaan 3B kuuluvan laserlaitteen suora ja peiliheijastanut säde on aina vaarallinen silmille. Luokka 3B käsittää laserit, joiden säteily ylittää luokan 3R emisiorajat. Näkyvän valon alueella tämä raja on 5 mW. Jatkuvatuomisen luokan 3B laserin suurin sallittu säteilyteho on 500 mW. Tähän luokkaan kuuluu muun muassa laitteen rakenteen ja varustelun osalta vaatimustenvastaisia osoitinlasereita

Luokan 4 laserin säde on niin voimakas, että se voi polttaa iholle palovamman hetkessä. Silmä voi vaurioitua jopa hajaheijastuksesta. Suuritehoinen lasersäde voi sytyttää puun tai kankaan tuleen. Luokan 4 laserlaitteita käytetään muun muassa sairaaloissa ja teollisuudessa leikkauslasereina sekä erilaisissa showesityksissä valotehosteina. [12]

## 6.2 IP-luokitus

IP-luku kertoo sähkölaitteiden suojauskyvystä, miten paljon ne kestävät ulkoisten olosuhteiden vaihteluja, kuten pölyä ja kosteutta. Tarkempi sisältö on määritelty standardissa IEC 60529 (International Electrotechnical Commission). [13]

Ensimmäinen numero kertoo laitteen pölytiivyyden:

- 0: Ei suojausta.
- 1: Suojaus suuria kappaleita vastaan, halkaisija 50 mm tai enemmän.
- 2: Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan, halkaisija yli 12,5 mm.
- 3: Suojaus pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 2,5 mm.
- 4: Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 1 mm.
- 5: Suojattu pölyltä. Ei edellytä täydellistä tiiveyttä, mutta haitallisia pölykertymiä ei saa syntyä.
- 6: Täydellinen suojaus. Pölytiivis. [13]

Toinen numero kertoo laitteiden vesitiivyyden:

- 0: Ei suojausta vettä vastaan.
- 1: Suojaus suoraan ylhäältä tulevaa vettä vastaan.
- 2: Suojaus ylhäältä tulevaa vettä vastaan. Testikappale 15 astetta kallistettuna kaikkiin neljään suuntaan vuorollaan.
- 3: Suojaus ylhäältä  $\pm 60$  astetta tulevaa vettä vastaan.
- 4: Suojaus vesiroiskeita vastaan.
- 5: Kestää vesiruiskun joka suunnasta.
- 6: Kestää suurella paineella tulevan ruiskun.
- 7: Kestää hetkellisen upotuksen veteen.
- 8: Kestää pysyvän upotuksen. Lisämerkintänä voi olla suurin sallittu asennussyvyys [13]

## 7 Laserskanneritarjonta

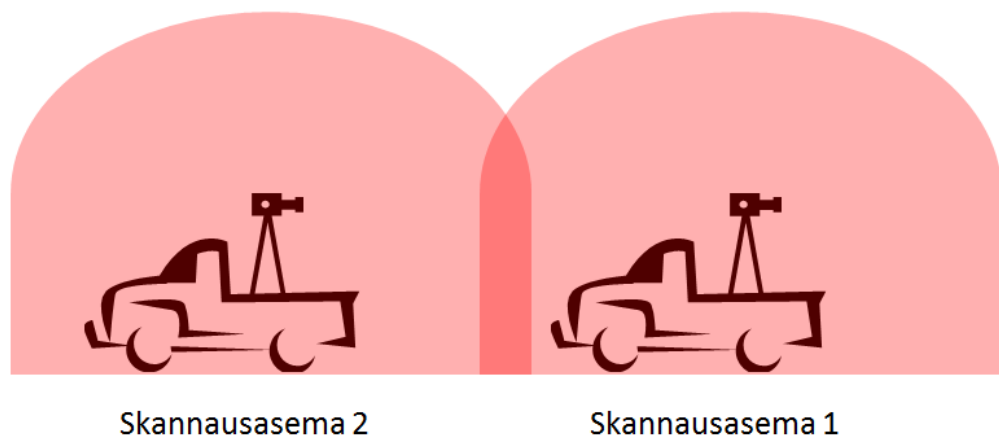
Keväällä 2013 Suomessa oli useita laitevalmistajia, joista monella oli tarjota useita malleja. Vertailussa oli mukana tunnetuimmat laserskannausmerkit: Trimble, Leica, Riegl, Faro, Topcon ja Zoller+Frölich.

Työn alkuvaiheessa valittiin kaksi tarkoitukseen parhaiten soveltuvaa vaihtoehtoa: Riegl VZ-400:n (2008) ja Leica P-20:n (2013). Muilla laitteilla mittaustarkkuus, -nopeus, -etäisyys sekä ohjelmisto vaikuttivat karsiutumiseen.

## 8 Staran suunniteltu käyttötarkoitus

Starassa laserskanneria suunnitellaan ensisijaisesti käytettävän katu- ja puistoalueiden mallintamiseen tehostamiseen. Mahdollisina käyttökohteina ovat myös erilaiset siltojen ja tunneleiden mittaukset sekä maa-alojen laskenta. [22]

Skanneria ajatellaan toistaiseksi käytettävän maanpinnalta kolmijaloilla, mutta suunnitelmissa on myös Stop and Go -menetelmän käyttö. Stop and Go -menetelmässä skanneri on liikkuvan ajoneuvon päällä, joka pysähtyy tasaisin välimatkoin laserskannausta varten. Etuna tässä menetelmässä on korkea kojekorkeus, jolloin mittauskulma pysyy jyrkkänä mahdollistaen laajempien alueiden skannaamisen yhdeltä asemapistteeltä, mikä nopeuttaa aineiston keruuta. [22] Kuvassa 6 on esitetty Stop and Go -menetelmän periaatetta.



Kuva 6. Stop and Go -menetelmässä skanneri on kiinnitetty liikkuvaan ajoneuvoon, joka pysähtyy tasaisin välimatkoin suorittamaan skannauksen.

Staran käyttökohteet määrittävät skannerille tiettyjä vaatimuksia:

- Katujen reunakiven korkeus tulee pystyä määrittämään alle senttimetrin tarkkuudella. [22]
- Mittaukset ovat ulkotilamittauksia, jolloin laitteen tulee toimia Suomen sääolosuhteissa. [22]
- Mittausalueet ovat pitkiä ja suhteellisen kapeita. Skannerin tulee mahdollistaa mahdollisimman pitkät mittaussvälit. Näin varmistetaan kustannustehokas työskentely. [22]

## 9 Tutkimukseen valitut skannerit

Laitteiden vertaileminen keskenään vaatii perehtymistä, koska laitteiden tuoteselosteet eivät ole verrannollisia keskenään. Laitevalmistajat ilmoittavat osan tiedoistaan parhaaksi katsomallaan tavallaan, jolloin voi muodostua väärä kuva laitteiden ominaisuuksista. On myös otettava huomioon, ettei laitetta voida hankkia yksittäisten ominaisuuksien perusteella, vaan ominaisuuksien tulee sopia käyttötarkoitukseen. Tästä syystä pitää hahmottaa mm., minkälaista tarkkuutta laitteelta vaaditaan. [24]

Mittausnopeuteen esimerkeiksi vaikuttavat useammat tekijät kuin pelkästään lähetettyjen signaalien lukumäärä. Laitteen nopeutta voidaan tarkastella monella tavalla. Laite voi lähettää suuren määrän signaaleita, mutta nopeasti kerätyn aineiston tarkkuus ei välttämättä riitä haluttuun käyttötarkoitukseen. Nopeasti mittaavat vaihe-eroskannerit tarvitsevat tiheästi kontrollipisteitä, minkä tähden skanneria joudutaan siirtämään lyhyin välimatkoin. Toisaalta pulssilasereilla mittaus tapahtuu hitaammin, mutta kantamat ovat pidemmät. Pulssilasereilla maastomittaukset sujuvat juohevasti, jolloin työstä voidaan suoriutua lyhemmässä ajassa.

Selkeyden saamiseksi laitteiden todellisista suorituskyvyistä, tehtiin pienimuotoinen käyttäjäkysely sekä testimittaus valituilla laitteilla Riegl VZ-400 ja Leica P-20. Näillä keinoin pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvin esille haluttuja ominaisuuksia laitteista. [24]



## 9.1 Riegl VZ-400

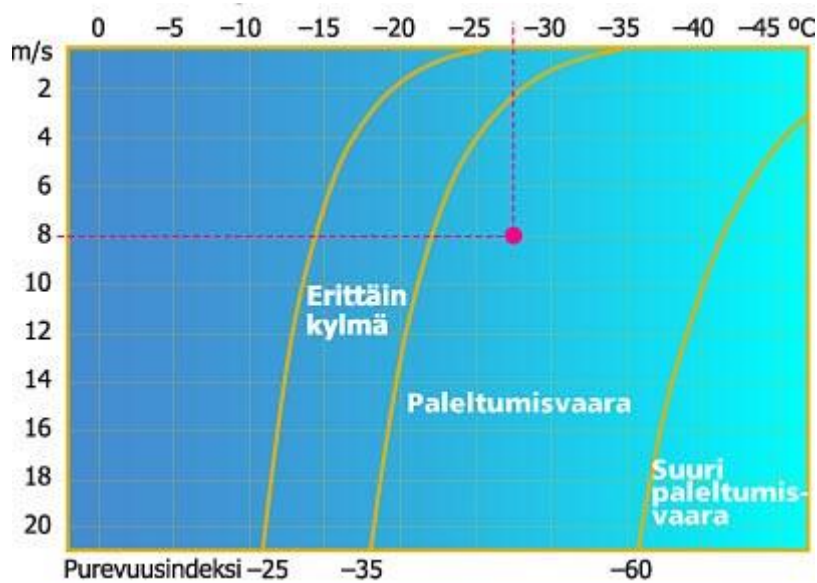


Kuva 7. Riegl VZ-400 [28]

Kuvassa 7 on Riegl VZ-400, joka on esitelty markkinoille vuoden 2008 Intergeo-messuilla. Nykyiseen VZ-400:aan on päivitetty uusia ominaisuuksia. VZ-sarjan myöhemmät mallit ovat VZ-1000, VZ-4000 ja VZ-6000. Suurimpia eroavaisuuksia VZ-400 ja uusempien mallien välillä ovat pidentyneet mittausetäisyydet sekä sisään rakennettu kamera. Rieglillä on vahva osaaminen signaalinkäsittelytekniikassa, ja yritys tuottaa laserskannerien lisäksi lasermittausjärjestelmiä. Riegl käyttää Full Waveform -tekniikkaa luokittelemaan palautuneet signaalit. VZ-400:n mittausnopeus ja mittausetäisyys esitetty kuvassa 8. Laitteen pakkaskestävyyden rajoista kerrotaan esitteissä epätarkasti. Laitteella voidaan mitata  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n pakkasella, jos laitteen sisäinen lämpötila pysyy plusasteiden puolella. Laitteen koneisto itsessään lämmittää laitetta jonkin verran. Pakkasrajan määrittävät vallitsevat olosuhteet, joista tuulella on merkittävä osuus. Tuulisella säällä lämpötila on kylmempi ja tyynellä lämpimämpi. Tulen vaikutus pakkasrajaan on esitetty kuvassa 9. Riegl VZ-400 on täysin pölytiivis ja vesiroiskeen kestävä. Laitteen IP-luokitus on 64 ja laserluokitus 1. Rieglä voi ohjata etäpääätteeltä, esimerkiksi tablettilta, ja aineistoa käsitellään RiSCAN PRO -ohjelmalla. [18; 25.]

	Long Range Mode	High Speed Mode
Pulse repetition rate PRR (peak) <sup>2)</sup>	100 kHz	300 kHz
Effective Measurement Rate <sup>2)</sup>	42 000 meas./sec	122 000 meas./sec
Max. Measurement Range <sup>3)</sup> natural targets $\rho \geq 90\%$ natural targets $\rho \geq 20\%$	600 m 280 m	350 m 160 m
Max. Number of Targets per Pulse	practically unlimited <sup>4)</sup>	
Accuracy <sup>5) 7)</sup>	5 mm	
Precision <sup>6) 7)</sup>	3 mm	

Kuva 8. Riegl VZ-400:n mittausetäisyyteen vaikuttavat useat tekijät, kuten lähetetyn pulssin taajuus ja heijastavan kohteen pinta [25].



Kuva 9. Kuva esittää tuulen vaikutusta pakkasen purevuuteen [10].

## 9.2 Leica P-20



Kuva 10. Leica P-20 [29]

Kuvassa 10 on uusi Leican laserskanneri Leica P-20. Se esiteltiin Intergeo-messuilla vuonna 2012, ja Suomen markkinoille se tuli vuoden 2013 alussa. Laite on suunniteltu kestäväksi hyvin Suomen olosuhteita  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. Laitteen sisällä on kompensaattori ja 5 megapikselin kamera. Laitteen mittausetäisyys on 40 cm:stä 120 m:iin. Leica hyödyntää Waveform Digitising -tekniikkaa, jonka ansiosta. Esitteessä ilmoitettu teoreettinen mittaussnopeus 1 000 000 pistettä/s on käytännössä 100 000–120 000 pistettä/s. Laitteella voidaan maasto-olosuhteissa suorittaa kenttäkalibrointi, jolla korjataan kollimaatio- ja indeksivirhe, etäisyysmittauksen nollapistevirhe sekä tasaimen virheet. P-20 on suojattu pölyltä sekä roiskevedeltä, ja se on IP-luokitukseltaan 54. Skanneri lähettää näkyvää valoa ja kuuluu laserturvallisuusluokkaan 2. Laitetta voi ohjata etäpäätteeltä, kuten tablettilta. Tietokoneessa pistepilveä käsitellään Cyclone-ohjelmistolla. [20;21]

## 10 Käyttäjäkysely

Käyttäjäkyselypyyntö lähetettiin kuudelle eri yritykselle, jotka käyttävät säännöllisesti laserskannereita työssään. Neljä yritystä vastasi. Koska Leican P-20-laite oli keväällä vasta ilmestynyt, yhdelläkään yrityksellä ei ollut tätä laitetta vielä käytössään. Haastattelemani Finnmap Infralla ja Helsingin rakennusvirastolla oli käytössä Leican C-10, VR Track:illa oli Riegl VZ-1000 ja Meritaidolla Riegl VZ-400. Suoritin kyselyn saadakseni arvioita laitteiden toimintakyvystä muiltakin kuin ainoastaan maahantuojilta. Lisäksi oli tarkoitus saada selville laitteiden mahdolliset eroavaisuudet sekä käyttäjien tyytyväisyys laitteiden ominaisuuksiin ja laitetukeen.

Vaikka laserskannerit ovat olleet markkinoilla reilun kymmenen vuotta, ei niiden käyttö ole vielä kovinkaan yleistä. Haastattelemillani yrityksillä oli käytössään ensimmäiset skannerit, eikä niiden ole tarvinnut vielä uusia laitteitaan. Yritykset ovat olleet tyytyväisiä hankintoihinsa. Jokaisella yrityksellä oli tarpeisiinsa nähden pätevä perustelu laitevalinnoillensa. Puolet haastattelemistani yrityksistä tarvitsi mahdollisimman pitkälle mittaavan laitteen, ja toinen puoli tarvitsi kupolimaisen mittaustyylin sisätilojen mittaukseen. VR-Track koki, että Rieglin käyttämä täyden aallonmuodon tekniikka oli kätevä pistepilvenkäsittelyssä. Pakkasrajan suhteen VR-Track kertoi, että mittauksia on pystytty tekemään aina kun on ollut tarvetta. Finnmap Infran mukaan Leica kuuntelee käyttäjien mielipiteitä ja ottaa ne huomioon ohjelmien päivityksissä. Ongelmatilanteissa yritykset kokivat saaneensa nopeasti tukea. [13; 14; 15; 16; 17.]

Kyselyn perusteella ei selvinnyt laitteissa, ohjelmistoissa ja palveluissa merkittäviä eroja.

## **11 Testimittaukset**

### **11.1 Suunnittelu ja toteutus**

Testimittausten tarkoituksena oli löytää laitteiden toiminnasta eroja, joilla olisi merkitystä Staran kannalta. Suunnitelma oli joustava, koska mittalaitteiden toimintaa ei vielä tunnettu. Ennakkoon oli päätetty, että mittaus suoritetaan valituilla laitteilla kahtena eri päivänä ja että mittaus on kumpanakin päivänä kaksiosainen.

Ensimmäisessä vaiheessa testattiin laitteiden kantomatkaa eli sitä, kuinka pitkälle skannerilla pystytään skannaamaan ja kuinka luotettavaa aineisto on matkan kasvaessa. Pisteiden luotettavuutta verrattiin takymetrillä kerättyyn aineistoon. Mittaukset suoritettiin kuivalle sekä kasteluautolla kostutetulle asvaltille. Näin pyrittiin saamaan mahdollisimman käytännönläheinen tieto laitteiden kyvystä käyttäytyä eri olosuhteissa.

Toinen vaihe sisälsi laitteistojen käytettävyyden ja aineiston tasalaatuisuuden testaamisen. Tämä testi suoritettiin Atomitiellä, jossa on Staran kolme toimistorakennusta. Skannaus tehtiin rakennusryhmän ympäri. Kuvassa 11 on testimittausalue

Pistetiheyttä ei määritetty tarkemmin, vaan mittaukset pyydettiin tekemään riittävällä tarkkuudella.



Kuva 11. Keltaisella on merkitty alue, jossa skannerien kantomatkaa testattiin. Tämän mittauksen kojeasemat sijaitsivat kohdassa, jossa Atomitie kaartuu. Punaisella on merkitty alue, joka sisältää Staran kolme toimistorakennusta.

Alueelle oli rakennettu etukäteen tukipisteverkko hyödyntäen Staran Trimble VX -takymetriä. Tukipisteverkko sisälsi neljä maatumipistettä, kolme Rieglin omaa tarratähystä sekä kymmenkunta takymetrien orientointiin tarkoitettua tarratähystä. Leican laitteella mitattattiin jokaiselta asemapisteeeltä kolme tähystä.

Rieglin laite testattiin 17.5.2013 ja Leican laite 20.5.2013. Mittaukset aloitettiin ensimmäisessä vaiheessa pystyttämällä koje vapaalle asemapisteelle. Kuvassa 12 molempien laitteiden ensimmäinen skannausasema. Pystyttämisen jälkeen suoritettiin etäisyysmittaus sekä valokuvaus kuivalle asvaltilla 360-asteisella skannauksella. Skannauksen jälkeen otettiin tähykset kiinni, ja sinä aikana kasteluauto kasteli Atomitien. Kastelun jälkeen skannaus ja kuvaamisen toistettiin märälle asvaltilla.

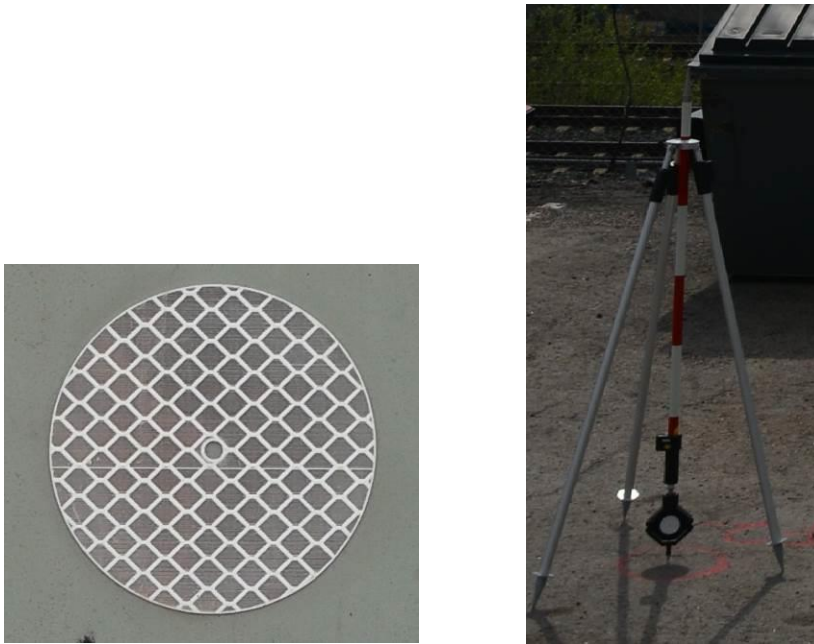
Toisessa vaiheessa skanneri pystytettiin vapaalle asemapisteele, minkä jälkeen suoritettiin skannaus, kuvaamisen ja tähysten kiinniotto. Tämän jälkeen siirryttiin seuraavaan kohtaan, jossa toistettiin skannaus, kuvaus ja tähysten kiinniotto. Rakennusryhmä saatiin kierretyksi noin kymmenellä asemapisteeillä. Mittauksia häiritsi ohikulkeva liikenne sekä tienreunaan pysäköidyt autot, jotka muodostivat katvealueita mittauksiin.



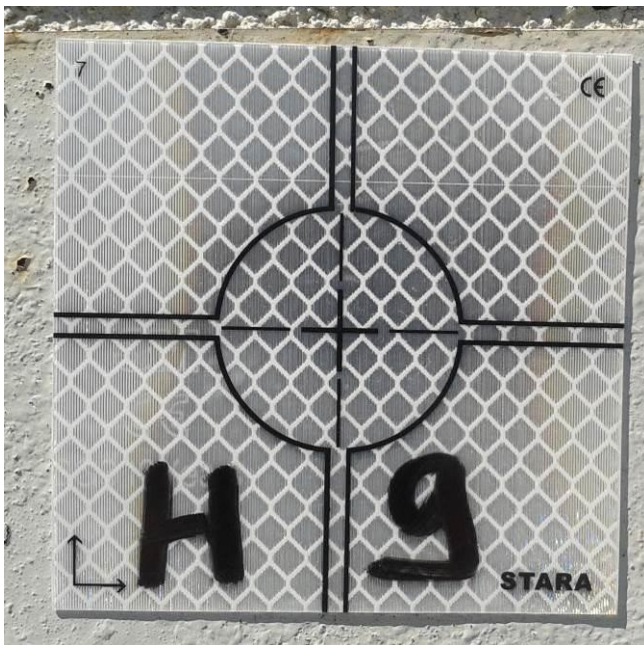
Kuva 12. Yläpuolella näkyvästä kahdesta kuvasta nähdään silmämääräisesti asemapisteiden välinen etäisyys sekä se, että mittaukset suoritettiin suunnilleen samasta kojekorkeudesta.

Rieglillä toisen vaiheen asianmukaiseen suorittamiseen tarvitaan kolme tähystä, jotka sijaitsevat mitta-alueen reunoilla. Mittauksen yhteydessä mitattiin ”ylimääräisiä” pisteitä mahdollisimman monipuolisen aineiston saamiseksi. Mittauksissa käytettiin Rieglin omia tarratähyksiä, Staran tarratähyksiä sekä tasotähyksiä. Tähystyypit on esitelty kuvissa 13 ja 14.





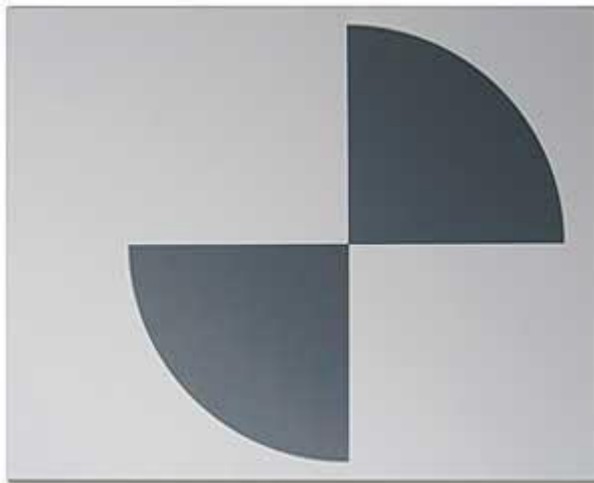
Kuva 13. Vasemalla Rieglin käyttämä tarratähys on halkaisijaltaan 50 mm. Oikean puoleisessa kuvassa on testimittauksessa käyttämämme tasotähys, johon on asennettu vasemmanpuoleinen tarratähys. [19]



Kuva 14. Staran käyttämä takymetri-tarratähys

Riegl tulkitsee skannauksesta havaitsemansa korkeasti heijastavat kohteet ja suorittaa niille tarkan skannauksen. Skannauksessa muodon perusteella Riegl määrittelee, onko kyseessä tähys vai esimerkiksi heijastava kissansilmä. Laitteessa on asetukset, joiden mukaan voidaan määritellä raja-arvo sille heijastavuuden voimakkuudella, jonka laite ottaa tarkasteltavaksi. Myös tarkasteltavien kohteiden lukumäärä voidaan itse valita. Työvaiheena tähysetsintä on automatisoitu.

Leican kohdalla käytimme Leican omia paperitähkyksiä, joita sijoitettiin niin, että jokaiselta kojeasemalta näkyi kolme tähystä. Paperitähyksille mitattiin koordinaatit takymetrillä samaan aikaan, kun laite skannasi ympäristöä. Leican käyttämä tähystyyppi näkyy kuvassa 15. Leican laitteella tähykset skannataan erikseen kääntämällä konetta kohti tähystä ja osoittamalla näytöstä sen sijainti. Tähykset skannataan korkealla resoluutiolla.



Kuva 15. Leican käyttämä A4-arkin kokoinen paperitähys





Kuva 16. Leican tasotähys [21]

## 11.2 Valokuvaus

Skannauksen yhteydessä voidaan ottaa mittausalueesta valokuvia. Valokuvia käytetään esisijaisesti aineiston käsittelyvaiheessa pistepilven värjäämiseen. Lisäksi ne antavat lisätietoa mittauksesta esimerkiksi vallinneesta sääolosuhteista. Kameralla voidaan kuvata asemapiste 360 asteen näkymällä.

Riegliin voidaan kiinnittää haluttu järjestelmäkamera. Testimittauksissa käytettiin Nikonin D800-kameraa, jossa oli yli 36 megapikseliä. Valokuvaus suoritettiin skannauksen jälkeen. Kameralla saatiin kuvatuksi 360 astetta viidellä kuvalla. Kuvaus kesti noin 1 min/asemapiste.

Leicalla voidaan ottaa kolmella tavalla valokuvia: skannerin sisäisellä kameralla, kolmijalan päälle pidikkeen avulla asetetulla kameralla, joka on kuvassa 17 sekä skanneriin kiinnitetyllä kameralla. Viimein mainittua ei ole toistaiseksi käytössä Suomessa. Testi-

mittauksissa kuvaukseen käytettiin skannerin sisäistä 5 megapikselin kameraa. Kamera otti 360 asteen näkymästä 256 kuvaa. Aikaa kului noin 6 min/asemapiste.



Kuva 17. Leican kolmijalkojen päälle nostettava kamerapidike. Pidikkeen ansiosta kameran fokuksen keskipiste ja skannerin mittauskaskeipiste ovat samat. [21]

Valokuvauksesta saadut väriarvot tulevat olla yhteneviä vastaavan mitatun pisteen kanssa. Tällöin kuva on mittatarkka. Mittatarkkuus voidaan saavuttaa joko valokuvamalla kohde samasta pisteestä, mistä laserilla mitataan tai, jos kameran kuvauspiste poikkeaa skannerin mittauspisteestä, käytetään kalibrointitiedostoja, joilla mittatarkkuus saavutetaan tietyille etäisyysvälille.

Rieglissä kamera kiinnitetään skannerin yläpuolelle. Mittatarkkuuden saavuttamiseksi käytetään kalibroititiedostoja.

Leican sisäinen kamera ja pidikkeellä kiinnitetty kamera sijaitsevat samassa pisteessä, josta laseri mitataan. Mittatarkkuuteen ei tarvita kalibroititiedostoja. [18; 21.]

Kuvassa 18 on testimittauksessa molempien laitteiden kameroilla otetut kuvat.



Kuva 18. Vasemmalla puolella on Rieglin käyttämällä järjestelmäkameralla otettu kuva ja oikealla Leican laserskannerin omalla kameralla otettu valokuva.

## 12 Ohjelmistot

Laserskannauksessa työhön käytettävä aika koostuu maastomittauksista ja toimistolla tehtävästä aineiston käsittelystä. Aineiston käsittely vie kohteesta ja halutusta lopputuloksesta riippuen puolet tai yli puolet kokonaisajasta. Tämän takia on yhtä tärkeää tutustua sekä laserskannerien että ohjelmistojen ominaisuuksiin. Tutkitut ohjelmat olivat Leican oma Cyclone ja Rieglin käyttämä RiSCAN PRO.

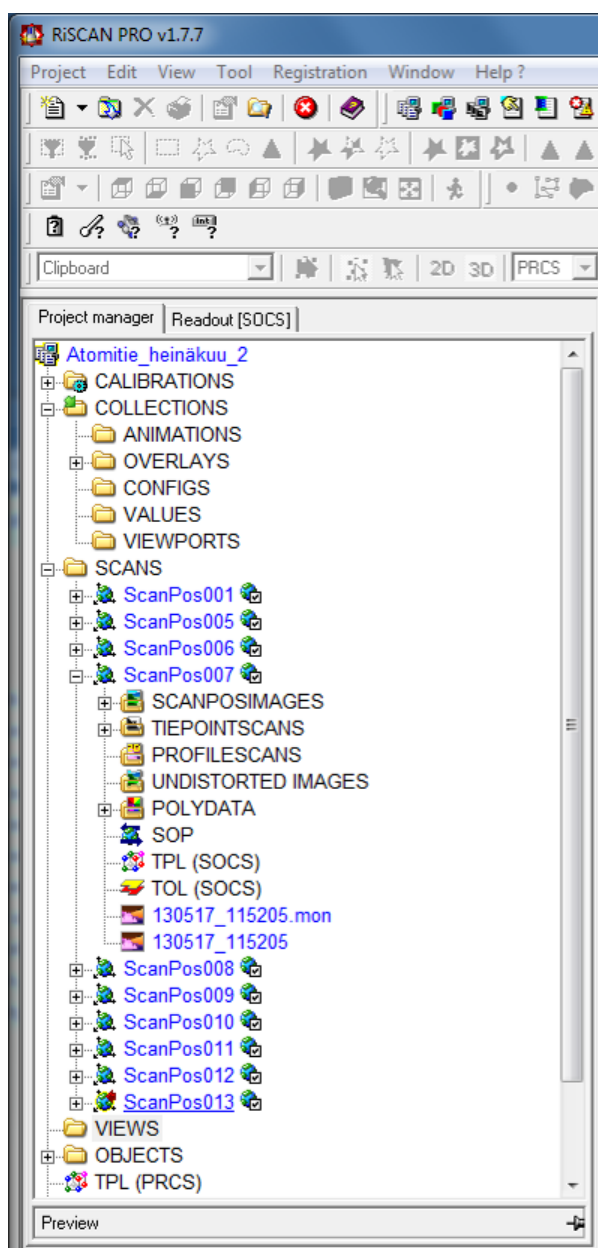
Ohjelmistoista tutkittiin käytettävyyttä hyödyntäen aikaisemmassa vaiheessa kerättyä laserskannausaineistoa. Lisäksi selvitettiin eroavaisuuksia aineistojen välillä. Stara suunnittelee laserskannerin hankintaa tehostaaksensa maastomallien tuottamista. Stara haluaa pääpiirteissään tietää, kuinka sujuvasti ohjelmistoilla voidaan aineisto muokata siihen vaiheeseen, että se on jatkokäsiteltävissä MicroStation-ohjelmalla. Ennen MicroStation-ohjelmalla tehtävää vaihetta pistepilvi rekisteröidään, harvennetaan ja siistitään sekä mahdollisesti vektoroidaan reunakivilinjat ja luodaan maastomalli. [23]

Tässä tutkimuksessa tutustuttiin rajallisesti kahteen eri ohjelmaan lyhyessä ajassa. Koekäytön takia tutkimista haittasivat osin asennus ja asetusongelmat. Tietokoneen ongelmista oltiin yhteydessä Helsingin kaupungin IT-tukeen ja ohjelmistojen käytöstä maahantuojiin. Tutkimuksessa saatiin riittävä käsitys ohjelmistoista ja niiden ominaisuuksista.

## 12.1 Pisteiden tuonti ohjelmaan ja rekisteröinti

Ensimmäinen vaihe pistepilven käsittelyssä on projektin luominen ja aineistojen purkaminen projektiin. Projektin tiedostorakenteen luominen muodostuu molemmissa ohjelmissa automaattisesti. Kuvassa 19 on RiSCANPRO:n pääikkuna.

Seuraavassa vaiheessa eri skannausasemilta mitatut pistepilvet yhdistetään ja siirretään haluttuun koordinaattijärjestelmään. Aineisto on myös mahdollista skannata suoraan haluttuun koordinaatistoon, jos lähtöpisteet on syötetty skannerille etukäteen. Työssäni käytin ETRS-89-koordinaattijärjestelmää.



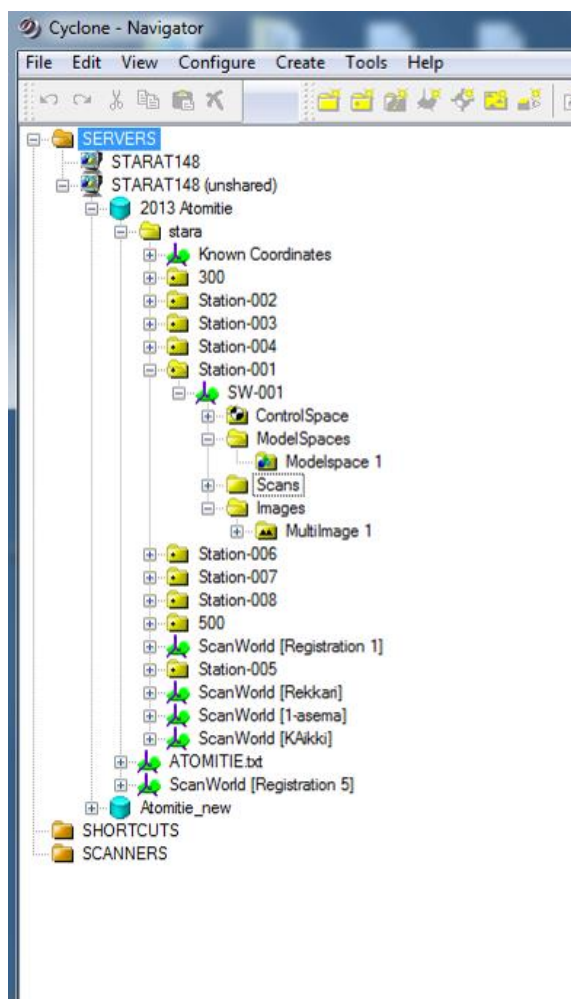
Kuva 19. RiSCAN PRO:n pääikkuna

Pistepilvi rekisteröintiin niin, että ensimmäiseksi aineisto yhdistettiin ja tasoitettiin tiiviiksi kokonaisuudeksi, joka vietiin ”jäykkänä” pistepilvenä haluttuun koordinaatistoon. Skannauksen yhteydessä Riegl mittaa sijaintinsa GPS:n avulla noin 10 m:n tarkkuudella. Sijainnin mittauksesta on hyötyä rekisteröinnin yhteydessä, kun kuvalta voidaan nähdä esimerkiksi skannausasemien järjestys ja likimääräinen sijainti. Tämän jälkeen pistepilvestä tietokone etsii tasoja ja muodostaa niihin normaaleja. Eri skannausasemien pistepilvistä ohjelma tunnistaa samoja tasoja ja pyrkii samansuuntaistamaan (tasoittamaan) niistä lähteviä normaaleja. Normaalien etsinnässä käytettyä hakualuetta tarken-

netaan koko ajan, kunnes saadaan riittävän tiivis ja tasalaatuinen aineisto. Tutkimuksessa tämä tarkennusprosessi tehtiin neljä kertaa. Tietokoneen antama keskihajonta normaalien tasoitukselle oli 2 mm. Tämän jälkeen suoritettiin visuaalinen tarkastelu, jossa aineiston läpi otettiin kapea pituuspoikkileikkaus. Poikkileikkauksesta katsottiin, tuleeko keskinäistä poikkeamaa niissä kohdissa, joissa kaksi eri pistepilveä kohtaavat. Tarkastelun jälkeen aineisto vietiin EUREF-89-koordinaattijärjestelmään käyttäen hyödyksi kolmea takymetrillä mitattua tähystä. Tähyksien tiedot tuotiin RiSCAN PRO-ohjelmaan tekstitiedostona. RiSCAN PRO:ssa on mahdollista suorittaa rekisteröinti myös ilman tasoitusvaihetta käyttäen hyväksi tähyksiä, jolloin jokaisen skannausaseman sijainti määräytyy asemalta nähtyjen tähyksien perusteella.

Itse rekisteröinnin tekeminen vaatii aikaa ymmärtää, mitä piti tehdä ja missä järjestyksessä. Normaalien tasoittaminen vaatii harjaantuneisuutta aineistojen käsittelyssä, koska laskemiseen pitää antaa sopivia raja-arvoja. [18]

Leican Cyclonessa tiedostorakenne on yksinkertainen ja helposti ymmärrettävissä. Projektin tiedostorakenteessa ovat skannausasemat ja niiden alapuolelle jokaisesta skannausasemasta kerätyt tiedot: kuvat, tarkepisteet, Control Space ja Model Space. Tiedostorakenne on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Cyclonen pääikkuna

Aineiston tuonti projektiin Cyclonella tuotti ongelmia, koska aineiston koko oli suuri eikä tietokoneen kapasiteetti ollut riittävä. Aineisto saatiin tuoduksi ohjelmaan useamman päivän jälkeen, kun käyttäjäasetuksia oli muutettu, aineiston tuominen oli jaettu paloihin ja suurimmasta osasta pistepilveä oli jätetty väriarvot laskematta.

Rekisteröinnissä hyödynnettiin takymetrillä mitattuja Leican paperitähyksiä. Ohjelmaan nämä koordinaatit tuotiin tekstitiedostona. Skannausasemien sijainti määräytyi takymetrillä mitattujen tähysten mukaan. Tämä edellytti, että tähykset olivat nimetty samoiksi takymetrissä ja skannerissa.

Rekisteröinti sujui helposti ja nopeasti, kun kertoi ohjelmalle, että x-koordinaatti osoittaa pohjoiseen ja y-koordinaatti itään. Yksi takymetrillä verkkoaidan läpi mitattu tähys jätettiin laskennassa huomioimatta. Rekisteröinnin lopussa Cyclone näyttää jokaisen tähyksen kohdalla keskivirheen. Kaikki 22 tähystä saavuttivat alle 3 mm:n tarkkuuden.

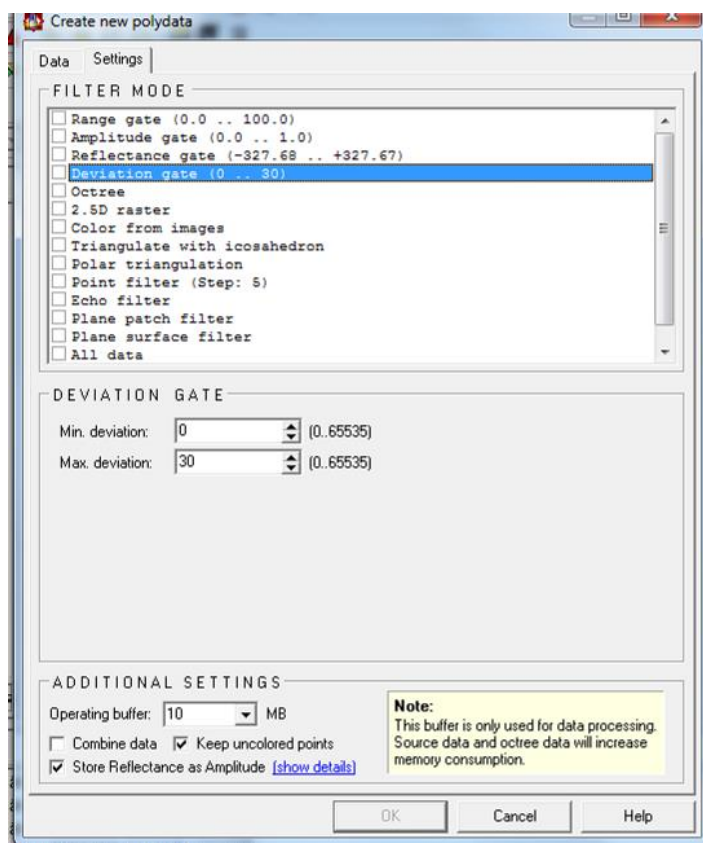
Cyclonessa on myös mahdollisuus rekisteröidä aineistot vielä kahdella muulla tavalla sekä eri kombinaatioilla. Yksi vaihtoehto on työn loppuvaiheessa kokeiltu pistepilven yhdistäminen toiseen pistepilveen kolmea hiirellä osoitettua yhteistä pistettä hyödyntäen. Yhteisten pisteiden täytyy näkyä molemmilta kuvilta, ja ne tulee pystyä määrittämään 10 cm:n tarkkuudella, minkä jälkeen ohjelma kykenee yhdistämään aineistot noin 5–10 mm:n tarkkuudella toisiinsa. Toisessa rekisteröintivaihtoehdossa osoitetaan pistepilvestä yhteisiä objekteja. Pallomaisissa ja lieriömäisissä kohteissa käytetään keskipistettä tai -akselia sekä tasomaisilla pinnoilla pintanormaaleja. Tähän menetelmään ei tutustuttu insinööritöissäni. [21]

## 12.2 Pistepilvien harvennus ja käsittely

Pistepilvien harvennusta joudutaan tekemään, koska aineistot ovat yleensä hyvin suuri-koisia. Lisäksi osa pisteistä poistetaan, koska ne ovat laserin tielle osuneita, ei-toivottuja kohteita, kuten ohi ajanut auto tai tien yli lentänyt lintu. Heijastavat kohteet saattavat lisäksi ohjata signaalin muualle, jolloin kohteen sijaintitieto vääristyy. Aineiston siivoaminen on aikaa vievin työvaihe pistepilven käsittelyssä.

Rieglin käyttämässä RiSCAN PRO:ssa on usea tapa harventaa pistepilveä. Aineistoa voidaan harventaa signaalista saatujen erilaisten paluutietojen perusteella esimerkiksi heijastavuuden arvoilla. Kuvassa 21 on listaus erilaisista tavoista suodattaa aineisto. [21]





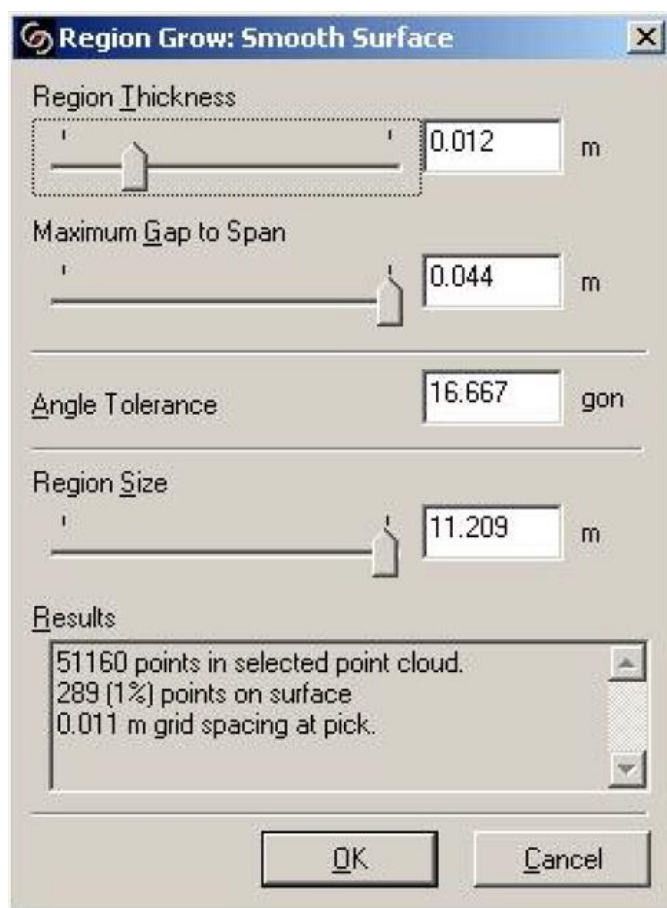
Kuva 21. RiSCAN PRO:ssa on lukuisia vaihtoehtoja suodattaa pisteitä.

RiSCAN PRO -ohjelman tärkein ja merkittävin toiminto oli pistepilven harvennus täyden aallonmuodon tekniikalla. Tällöin pisteitä pystyttiin näyttämään ja harventamaan signaalin paluutiedon perusteella. Paluutiedoista voidaan määrittää pisteet, joihin lasertäplä osuu kokonaisena (single target), hajonnut lasertäplä osuu ensimmäiseksi tai viimeiseksi (first target, last target), sekä pisteet, jotka sijoittuvat ensimmäisen ja viimeisen välille (other target).

RiSCAN PRO:ssa on Terrain filter -työkalu, johon on valmiiksi luotu sopivia arvoja eri tarpeisiin, kuten kasvillisuuden poistoon. Työkaluun voidaan asettaa omia arvoja.

Leica Cyclonessa on muutama tapa, jolla voidaan harventaa pistepilveä. Yksi tapa on käyttää Smooth-työkalua, jolla pystytään poistamaan jyrkästi eroavia kohteita halutulta pinnalta, kuten kadulla sijaitsevat autot. Työkalulle määritellään raja-arvot, joiden ulkopuolelle jääneet pisteet voidaan poistaa. Smooth-työkalun valintaikkuna on esitetty kuvassa 22. Toinen tapa on käyttää Unify clouds -työkalua, jolla voidaan yhdistää eri pistepilviä niin, että päällekkäisiin pisteisiin jää vain yksi piste. Molemmissa työkaluissa

pistepilveä harvennetaan enemmän tasaisilta alueilta ja vähemmän niistä kohdissa, missä geometriassa on enemmän muutoksia. Lisäksi aineistoa voidaan harventaa vähentämällä pisteistä joka toinen, kolmas, neljäs jne. Pisteitä voidaan myös poimia intensiteettiarvojen perusteella.



Kuva 22. Smooth-työkalun valintaikkuna. Valintaikkunassa määritellään arvot, joiden mukaan aktiivisena olevan pisteen ympäriltä otetaan mukaan lisää pisteitä. [21]

### 12.3 Maastomallit ja vektorointi

Rieglin RiSCAN PRO:ssa ja Leican Cyclonessa maastomallin tekeminen on suhteellisen yksinkertaista. Ensiksi valitaan mallinnettava alue pistepilvestä, jonka jälkeen valitaan maastomallityökalu. Työkalussa voidaan säätää kolmioinnin eri arvoja, jonka jälkeen tietokone luo maastomallin. Cyclonessa voidaan jälkikäteen harventaa saatujen kolmioiden lukumäärää niin, että se on helpommin siirrettävissä muihin ohjelmiin.

Vektorointi tapahtuu molemmissa ohjelmissa puoliautomaattisesti. Kohteesta, esimerkiksi reunakiven päältä, osoitetaan muutama piste, minkä jälkeen määritellään vektorointityökalulla sallitut raja-arvot, joiden puitteissa vektori muodostuu.

#### 12.4 Pistepilven värjäys

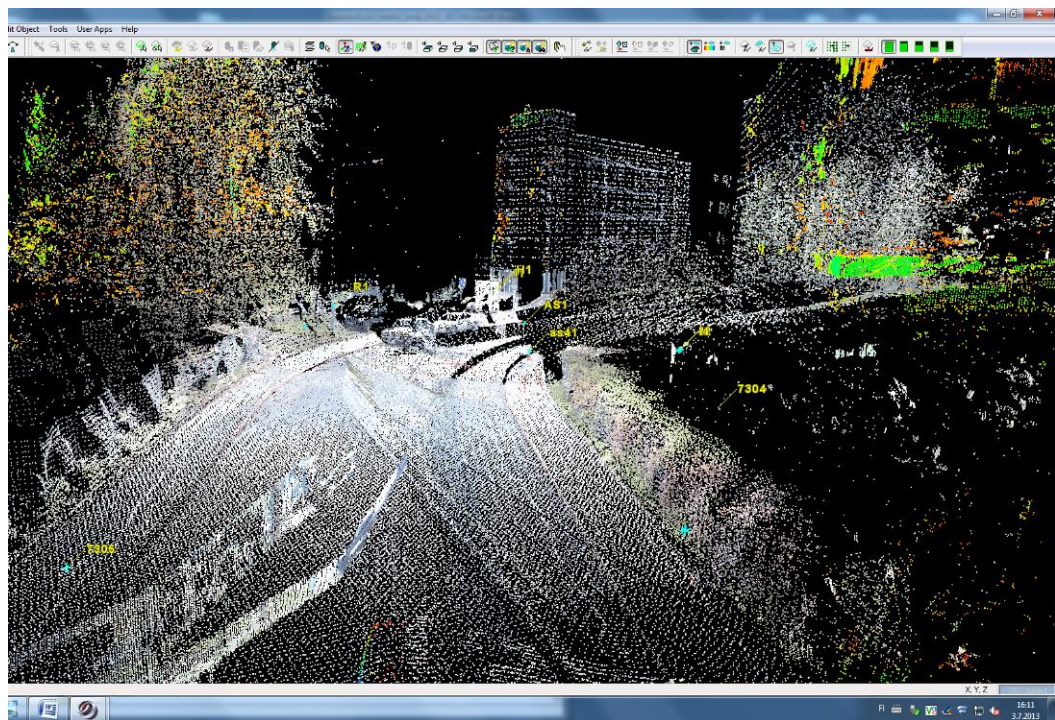
Pistepilven värjääminen auttaa jälkikäsitellyssä havainnollistamaan aineistoa. Väriarvot saadaan lasketuksi kameralla otetuista valokuvista. Molemmilla ohjelmilla pistepilvien värjäys tuotti ongelmia.

Rieglin RiSCAN PRO:ssa aineisto värjätään tiedostojen purkamisen jälkeen. Skannausasemalta saadut pisteet voidaan määritellä värjättäväksi asema kerrallaan. Suuret pistemäärät hyydyttivät tämän ohjelman. Osittain hyytymisen syynä saattoi olla, että aineistoa yritettiin värjätä ulkoisen kovalevyn kautta, jolloin tiedonsiirto ”tukkeutui”. Tämän takia värjättiin vain yksittäinen skannausasema, jotta saatiin verrattua värjäyksien laatuja keskenään.

Leican Cyclonessa pistepilvet värjätään aineiston purkamisvaiheessa. Raskas pisteaineisto hyydytti tietokoneen ja vain osa aineistosta saatiin värjättyksi.

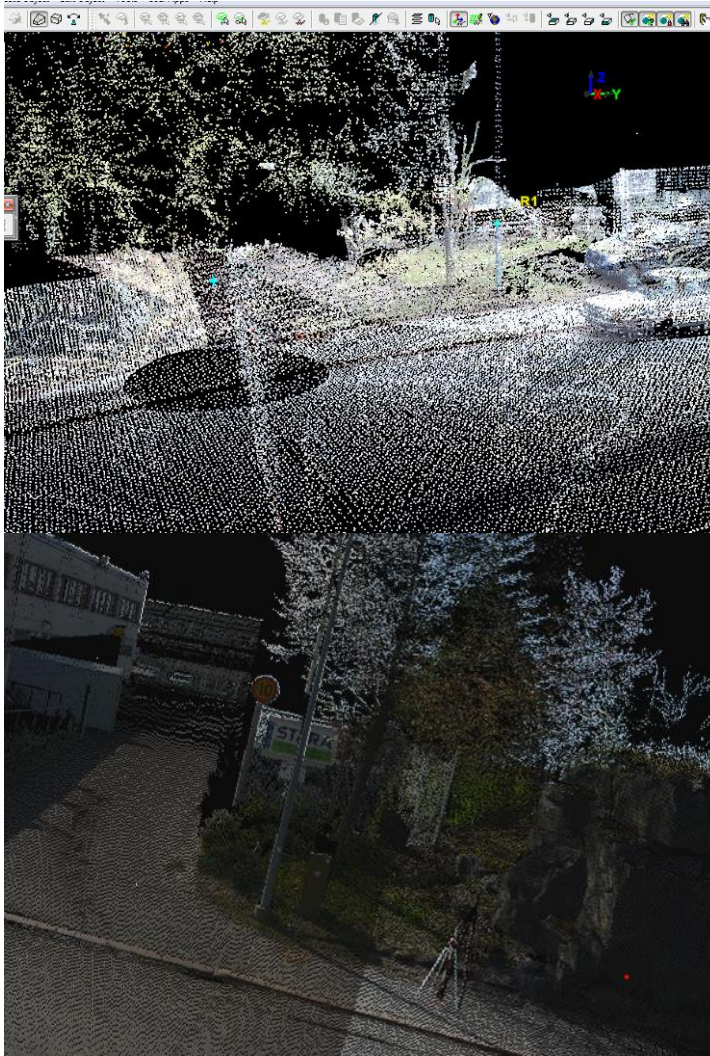
Kuvien ottamisen hetkellä sää oli erilainen. Rieglin kuvauksen aikana sää oli puolipilvinen ja valaistus oli voimakkaampi. Leicalla oli kuvaushetkellä ohkainen pilviverho koko taivaan yllä. Rieglillä oli näin parempi valaistus, mutta ei niin merkittävästi, kuin aineiston värjäyksestä voisi päätellä.

Kuvissa 23 ja 24 on esitetty RiSCAN PRO:lla ja Cyclonella värjätyt pistepilvet.



Kuva 23. Ylempänä on RiSCAN PRO:ssa värjätty pistepilvi ja alemmassa kuvassa Cyclonessa värjätty pistepilvi. Kuvat esittävät samaa aluetta samasta suunnasta. Näissä kuvissa on tarkoitus havainnollistaa katualueiden värieroa.





Kuva 24. Ylempänä on RiSCAN PROssa värjätty pistepilvi ja alemmassa kuvassa Cyclone:ssa värjätty pistepilvi. Näissä kuvissa on tarkoitus havainnollistaa viheralueiden värjäytymiseroa.

## 12.5 Mittausetäisyyden tutkiminen

Testimittauksessa verrattiin skannereilla saatuja korkeuspisteitä takymetrillä kerättyihin korkeuksiin sekä kuivalla että märällä asfaltilla. Takymetriaineisto kerättiin Trimblen VX-takymetrillä ja korkeuspisteet otettiin kadun korkeuskeskilinjasta. Molempien skannereiden ensimmäiseltä skannausasemalta kerätystä pistepilvistä rajattiin katualue ja kadun pinnasta karsittiin ylimääräinen kohina silmämääräisesti pois. Sama käsittely tehtiin sekä kuivalta että märältä saadulle skannausaineistolle. Tämän jälkeen aineisto siirrettiin dxf-formaatissa MicroStation V8i -ohjelmaan. Dxf-formaatti ei ole toimivin ratkaisu, mutta aineisto saatiin siirretyksi ja käsitellyksi. Molempien skannereiden aineistoista luotiin Terra Modelerilla omat tasonsa sekä kuivasta että märästä asfaltista, min-

kä lisäksi takymetriaineistosta omansa. Tasoista tehtiin kolme Atomitien pituussuuntaista pystyleikkausta. Nämä pituusleikkaukset esitetään liitteessä 1.

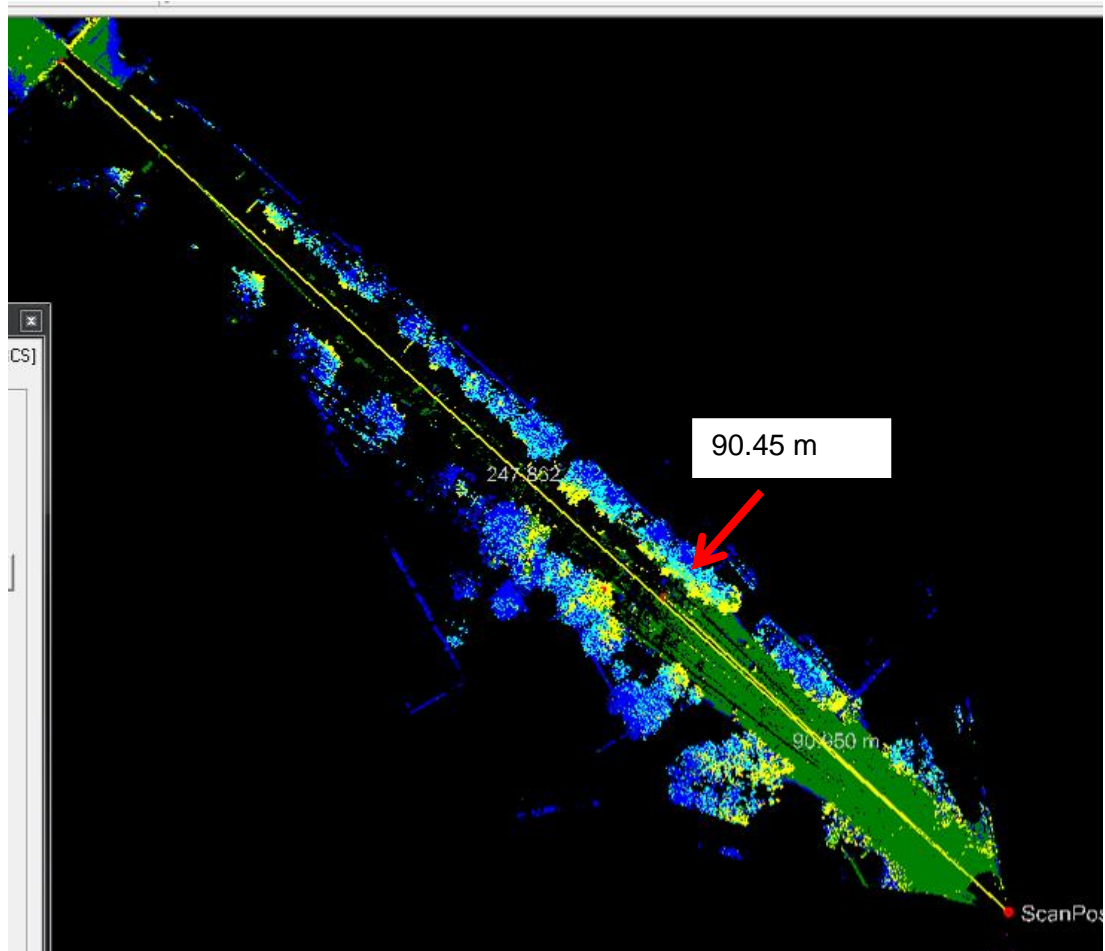
Molempien skannereiden korkeusmittaustuloksissa ei ollut merkitystä sillä, oliko asfaltti kuiva vai märkä. Leikkauksissa näkyy muutama ”hyppy”, jotka johtuvat pistepilven sisästä jääneistä pisteistä.

Tutkimuksessa testattiin myös yksittäisen skannausaseman mittausetäisyyttä kadunpintaan. Mittauskulman suuruudella on merkitystä saatavaan tulokseen. Tarkan vertailutuloksen saamiseksi kojekorkeus ja mittaustaikan olisi pitänyt olla kummankin skannerin kohdalla samat, mutta tien viereen parkkeerannut auto esti katveellaan laitteiden pystyttämisen samalle kohdalle. Mittauskulmissa oli eroavaisuutta mitattaessa Atomitietä ylämäen tai alamäen suuntaan. Kojekorkeudet olivat suurin piirtein samalla korkeudella.

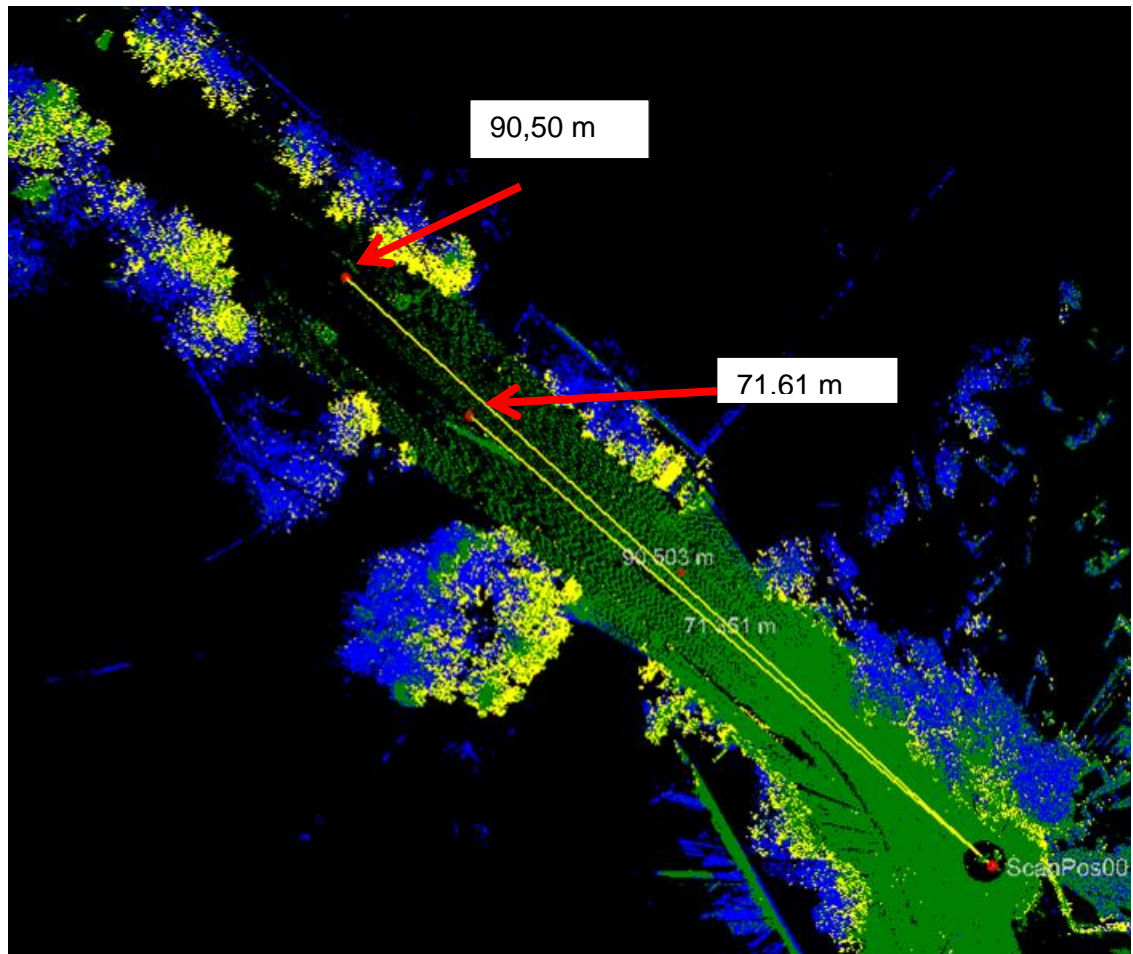
Oletus oli, että Riegl pystyy mittaamaan pidemmälle, koska esitteiden mukaan Rieglin VZ-400-laitteella voidaan mitata tarkalla mittaussuoralla 350 metriin ja Leica P-20-laitteella 120 metriin. Veden vaikutuksen epäiltiin heikentävän tulosta, mutta sen suuruutta emme pystyneet arvioimaan.

Mittaustuloksia tutkittiin ohjelmistojen omilla mittaustyökaluilla.

Riegl mittasi kuivalla asfaltilla ylämäkeen 90 metriä ja märällä asfaltilla 70 metriä. Märällä asfaltilla saatu tulos saattaa olla parempi, koska todennäköisesti laserin tielle ajoi auto, joka esti säteen kulun pidemmälle. Mittaukset on esitetty kuvissa 25 ja 26.



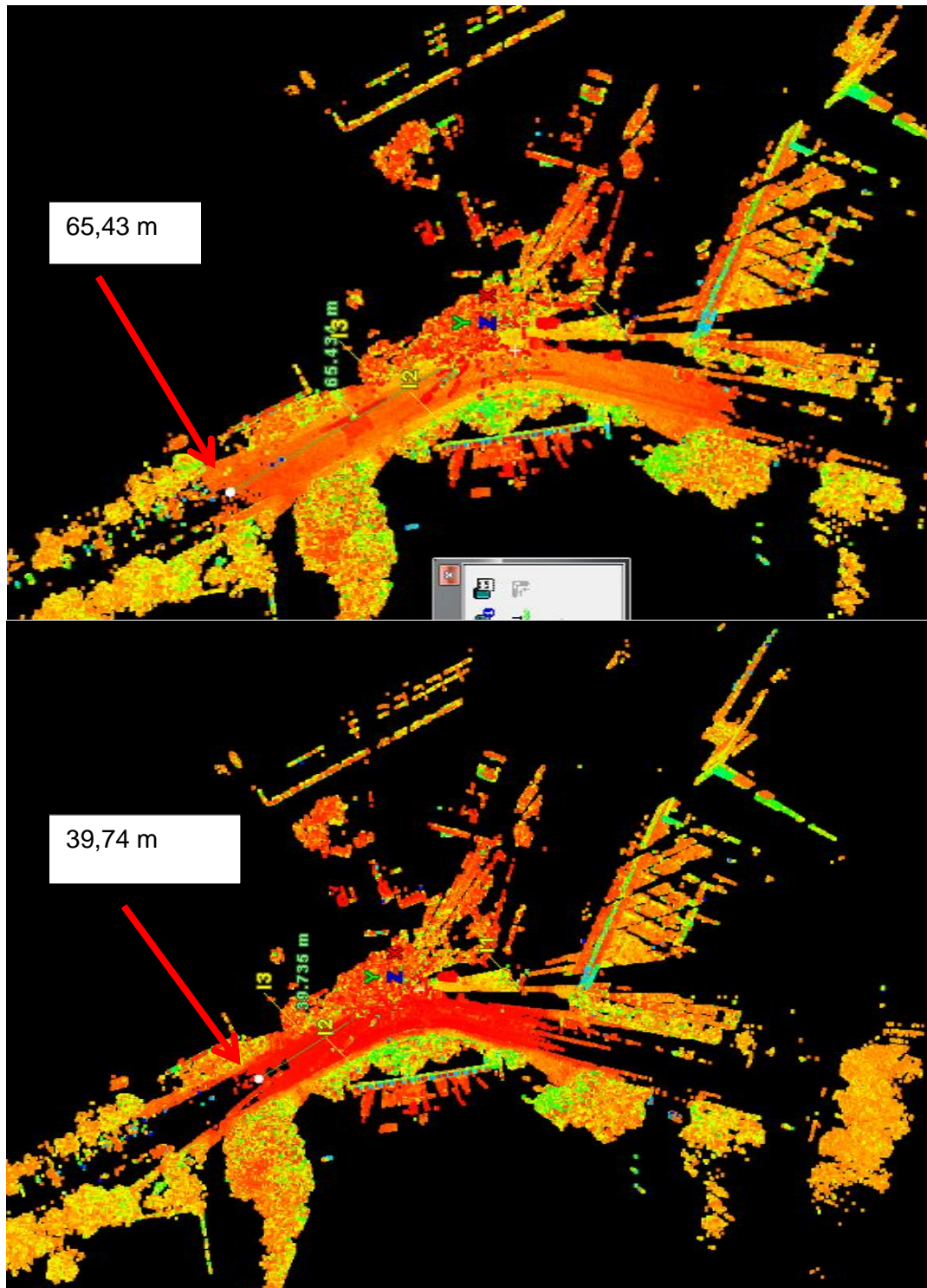
Kuva 25. Rieglin mittaus kuivalla asfaltilla ylämäkeen.



Kuva 26. Rieglin mittaus märällä asfaltilla ylämäkeen. Vasemmalla kaistalla 70 metrin kohdalla voidaan nähdä mahdollisen auton aiheuttama katve.

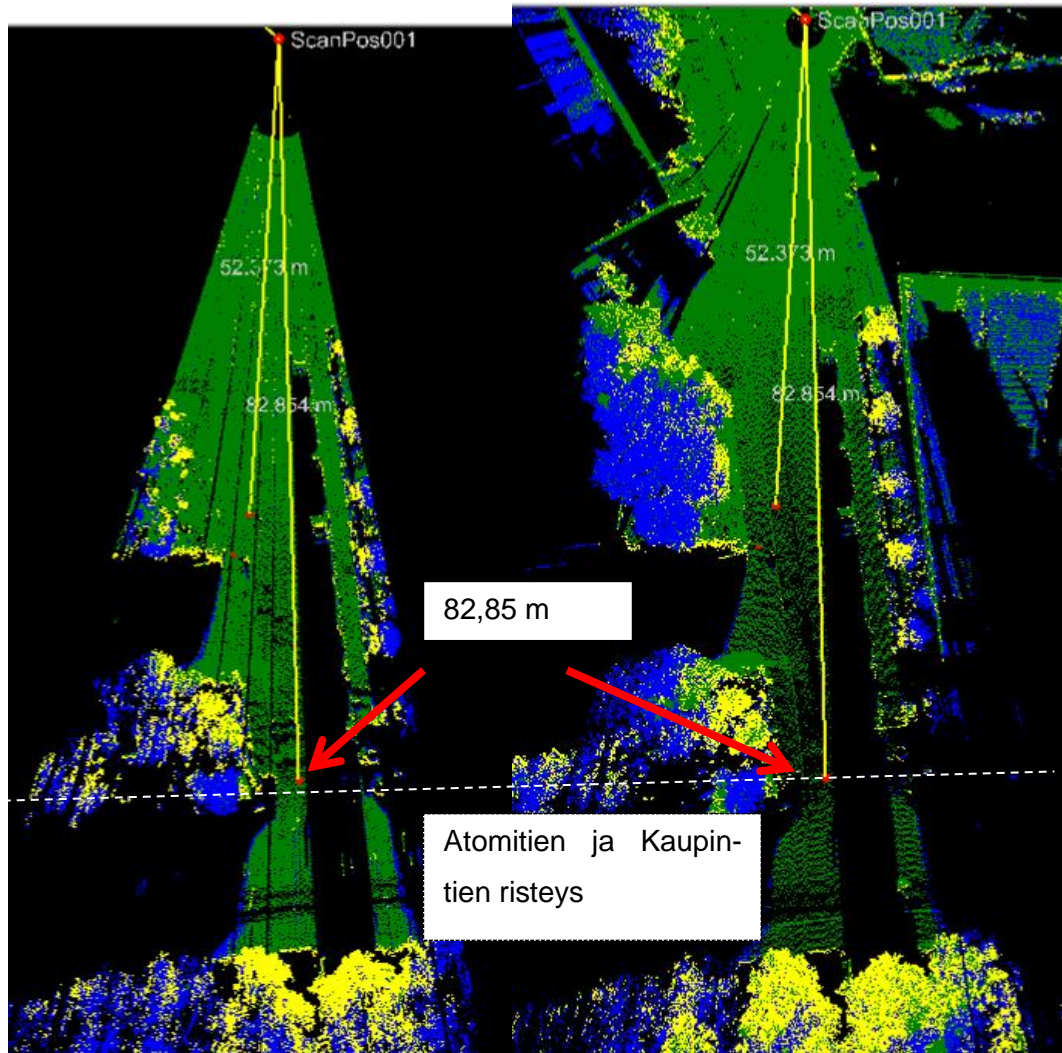
Leican skanneri mittasi ylämäkeen kuivalla asfaltilla 65 metriä ja märällä asfaltilla 45 metriä. Kummassakin pistepilvessä oli selkeä raja, jonka takaa ei saatu pisteitä. Mittaustulokset näkyvät kuvassa 27.





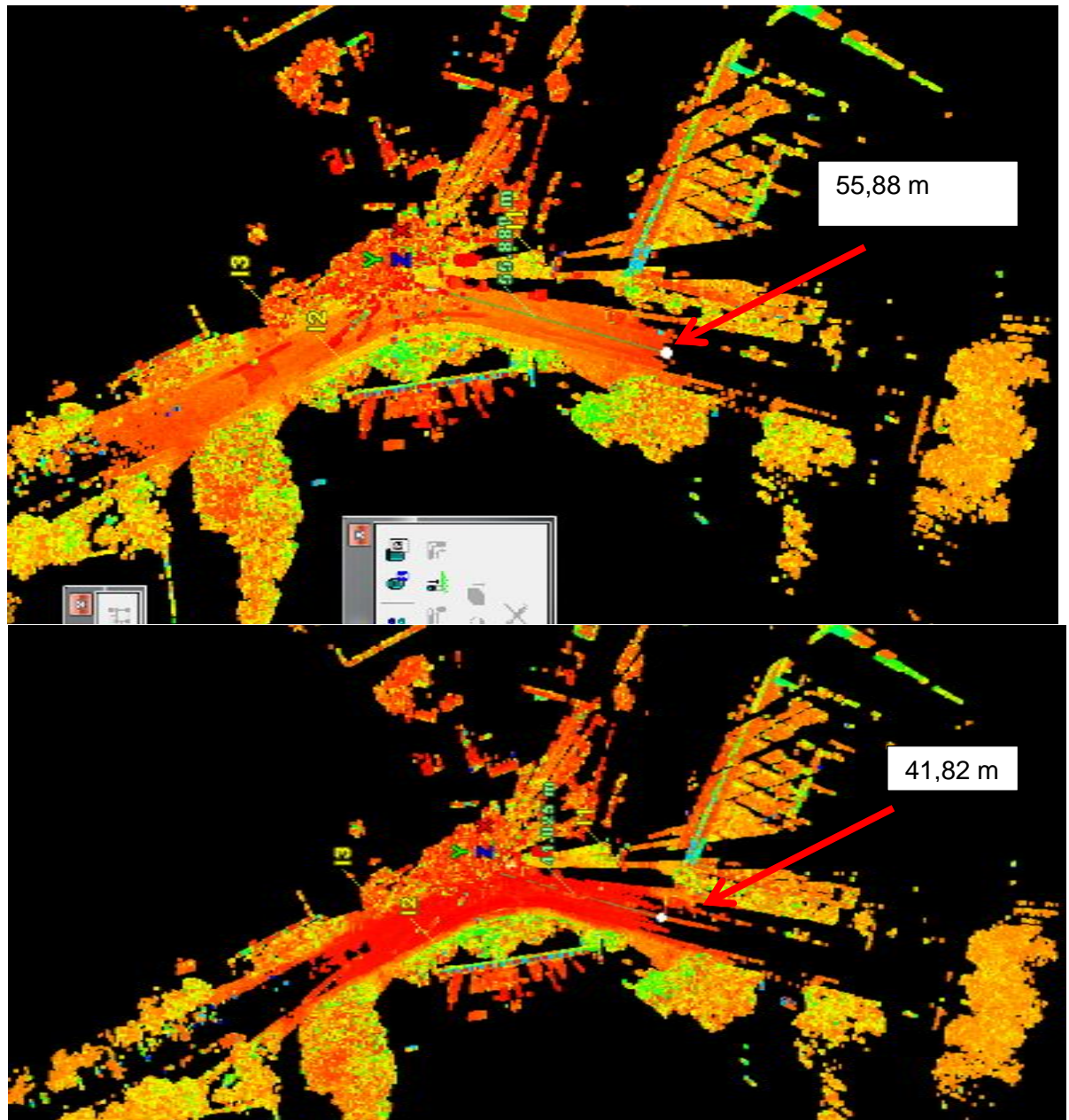
Kuva 27. Molemmat kuvat ovat Leican ensimmäiseltä kojeasemalta. Ylemmässä kuvassa katualue on kuiva. Alemmassa kuvassa katu on märkä.

Riegl mittasi alamäkeen sekä kuivalla että märällä asvaltilla Atomitien ja Kaupintien risteykseen yhtä hyvin, 82 metriä. Rieglin mittaustulos on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Vasemmalla puolella on Rieglin pistepilvi kuivalta asvaltilla mitatusta ja oikealla kastetulta asvaltista mitatusta pinnasta.

Alamäkimitauksissa Leican laite mittasi kuivalla asvaltilla 55 metriä ja märällä asvaltilla 41 metriä. Leican mittaustulos on esitetty kuvassa 39.



Kuva 29. Molemmat kuvat ovat Leican ensimmäiseltä kojeasemalta. Ylemmässä kuvassa katualue on kuiva. Alemmassa kuvassa katu on märkä.



### 13 Yhteenveto

Helsingin kaupungin rakentamispalvelu Stara harkitsee tehostavansa mittaustoimintaa laserskannerin avulla. Tarkoituksena on saada tehostetuksi maastomallien luontia ja mahdollisuuksien puitteissa hyödyntää tekniikkaa myös muissakin mittauksissa, kuten erilaisten suunnittelu- ja lähtötietojen hankinnassa.

Vertailussa katsottiin kokonaisuutta, sekä laitetta että ohjelmistoa. Molemmilla laitteilla Stara tehostaisi mittausta verrattuna nykyiseen takymetrimittauksiin.

Mittauksesta tehdyt havainnot

Tasavertaisen etäisyystarkastelun suorittamiseksi olisi ollut hyvä, että laitteet olisi pysytetty tunnetulle pisteelle ja skannerin mittauskorkeus olisi määritelty. Asemapisteidien eroon vaikutti tienreunaan parkkeerattu auto. Leicaa siirrettiin usea metri ylämäkeen. Kuvassa 12 näkyvät asemapisteidien sijainnit. Siirron vuoksi Riegl mittasi Atomitietä alemmaa kuin Leica. Mittauksen suorittaminen alemmaa heikentää paluusignaalin tulo-kulmaa. Asemapisteidien sijaintien eroavaisuudella ei ollut ratkaisevaa merkitystä etäisyysmittaustulokseen.

Riegl mittasi pisteitä 10 m:n etäisyydeltä skannerista 7 mm:n välein. Leican mittausti-heys oli vastaavalla etäisyydellä 3,1 mm. Kummallakin kului aikaa noin 3 minuuttia skannauksen suorittamiseen. Pistetiheys olisi ollut hyvä määrittää tarkasti etukäteen. Kuitenkaan mittauksien laatuun, nopeuteen taikka pistetiheyteen ei syntynyt merkittäviä eroavaisuuksia.

Molemmat laitteet olivat suhteellisen helposti omaksuttavissa, ja perusasetusten sää-tämisen jälkeen mittaaminen oli järjestelmällistä etenemistä. Skannausaika oli molem-missa laitteissa n. 3 minuuttia/asemapiste. Leica otti tässä ajassa kaksi kertaa tiheäm-min pisteitä. Eroavaisuutta kokonaisajassa syntyi Rieglin eduksi, ja siltä kuvien mittaa-minen oli huomattavasti nopeampaa kuin Leicalla.

## Skannerien vertailutaulukko

	Riegl	Leica
Malli	VZ-400	P-20
<b>Tekniset ominaisuudet</b>		
Koko	Ø 180 mm x 308 mm	238 mm x 358 mm x 395 mm
Paino	n. 9,6 kg	11,9 kg
Mittauksen näkökenttä	Panoraamainen	Kupolimainen
Etäisyysmittausmenetelmä	Pulssilaser	Pulssilaser
Käyttölämpötila	-20 +50 ° C	-20 +50° C
Laserluokitus	1	2
IP-luokitus	64	54
Etäpääte ohjattavuus	Kyllä	Kyllä
Kamera	Ulkoinen	Sisäinen
-pikseli	>36 Mpixl	5 Mpixl
-kuvaus aika	n. 1 min	n. 6 min
-kuvien määrä	5 kpl/asemapiste	256 kpl/asemapiste
-kuvien laatu	Hyvä. Rieglillä oli parempi valaistus kuvaushetkellä, mutta kuvien laatuero ei ratkennut valaistuseroon.	Heikko. Leicalla oli huonompi valaistus kuvaushetkellä, mutta kuvien laatuero ei ratkennut valaistuseroon.
Tähyystyyppi	Tarra- ja tasotähyys. Kestävä, pieni, helppo käyttöinen	Paperi- ja tasotähyys. Vaatii suhteellisen suuren tilan. Ei kestä sadetta. Paperi tähykset voidaan kelmuttaa sateen kestäväksi, mutta joissakin tapauksissa kelmupinta saattaa heijastaa lasersäteen pois, ettei sitä voida mitata. Testimittauksissa tämä tapahtui kerran.
Kenttäkalibrointi	Ei	Kyllä
Mittaus etäisyys		
-esitteessä annettu	max. 600 m	max. 120 m
Stop and go -menetelmä	VZ-400 vaikuttaisi soveltuvan hyvin Stop and go -menetelmään.	Tähysten manuaalinen osoittaminen ja hidas valokuvien ottaminen eivät sovellu Stop and go -menetelmään.

## Ohjelmistojen vertailutaulukko

Ohjelmisto	RiSCAN PRO	Cyclone
Aineiston koko		
-suoraan skannerista	3,2 Gt	13,2 Gt
-skannerista purkamisen jälkeen	Tiedostojen purkamisen jälkeen kokoero tasoittui hieman, mutta Leican aineisto pysyi huomattavasti suurempana. Aineistojen tarvitsema kapasiteetti tulee ottaa huomioon kun suunnitteellaan tietokonejärjestelmien hankintaa.	
Pisteiden ohjelmaan rekisteröinti	Tiedostorakenne muodostuu automaattisesti. Tiedostorakenne vaikutti aluksi epäselvältä. Syynä oli se, että tiedostorakenteessa oli monia kansioita ja tiedostoja ja osassa niistä oli käytetty samankaltaisia lyhenteitä. Ohjelman RiSCAN PRO vaatii aikaa totutella käyttämään sitä.	Tiedostorakenne muodostuu automaattisesti. Selkeä tiedostorakenne. Ohjelman Cyclone oli helpommin omaksuttavissa.
Pistepilven harvennus ja käsittely	Työkalujen valitseminen ja käyttö vaatii harjaantumista, jotta oppii valitsemaan sopiva arvoja eri käyttökohteisiin. Työkaluissa on useita tapoja harventaa aineistoa. Ne toimivat hyvinä yleispuhdistimina, mutta aineisto tulee tarkistaa huolellisesti läpi. Mahdollisesti tämän jälkeen aineistoa pystytään tulkitsemaan Cyclonea syvällisemmin. Ohjelmassa voidaan hyödyntää Full Waveform-tekniikkaa. Vaikuttaa hyödylliseltä, etenkin kasvillisuuden parissa työskenneltäessä. Staran tarpeita ajatellen, tehokkaammat työkalut pistepilven harventamiseen.	Muutama tapa harventaa pistepilveä. Työkalut toimivat hyvinä yleispuhdistimina, mutta aineisto tulee tarkistaa huolellisesti läpi. Ei Full Waveform -työkalua. Työkalut ovat selkeitä.
Maastomallit ja vektorointi.	Työkalut olivat ohjelmien välillä samanlaisia. Maastomallin tekeminen on yksinkertaista. Vektorointi tapahtuu puoliautomaattisesti. Toiminto ei vaikuttanut sulavalta. Käytön myötä toiminto saattaisi muuttua juohevammaksi.	Työkalut olivat ohjelmien välillä samanlaisia. Maastomallin tekeminen on yksinkertaista. Kolmioinnin lukumäärää mahdollista harventaa jälkikäteen. Näin on kevyempi siirtää muihin ohjelmiin. Vektorointi tapahtuu puoliautomaattisesti. Toiminto ei vaikuttanut sulavalta. Käytön myötä toiminto saattaisi muuttua juohevammaksi.
Pistepilven värjäys	Kameroiden laadulla on suuri vaikutus värjättyihin aineistoihin. Nikonin järjestelmäkamera tuotti hyvin värikylläisen aineiston. Valokuvista saatiin hyvä värjätty aineisto.	Leican oma kamera tuotti heikko laatuista kuvaa. Valokuvista saatiin huonosti värjättyä pistepilveä. Parempi hyödyntää muita katselumuodeja.
Mittausetäisyys		
-ylämäki kuiva	n. 90 m	n. 65 m
-ylämäki märkä	n. 70 m (90 m)	n. 40 m
-alamäki kuiva	n. 80 m	n. 55 m
-alamäki märkä	n. 80 m	n. 40 m
	Riegl mittasi pidemmälle ylämäkeen märällä asfaltilla kuin Leica kuivalla asfaltilla, vaikka sen mittauskulma oli loivempi. Skannerien mittausasemien sijainilla ja tästä johtuvilla mittauskulmien eroavaisuuksilla ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta lopputulokseen. Tulokseen ei myöskään vaikuttanut se, että Leican mittauksissa asfaltti oli silmämääräisesti katsottuna mämpi.	
Mittaustarkkuus	Tutkimuksen mukaan tarkkuus taso on riittävä, eikä mitattavan pinnan kosteudella ole merkitystä tarkkuuteen	Tutkimuksen mukaan tarkkuus taso on riittävä, eikä mitattavan pinnan kosteudella ole merkitystä tarkkuuteen
Aineistojen laatu	Aineisto vaikutti hyvältä ja tasalaatuiselta sekä tietokoneen antamilla tasojen tasoitusarvoilla, että visuaalisesti katsottuna.	Aineisto vaikutti hyvältä ja tasalaatuiselta sekä tietokoneen antamilla tähysten keskivirhearvoilla, että visuaalisesti katsottuna.

## Lähteet

- 1 Staran esittely. 2013 Verkkodokumentti. Stara.  
<<http://www.hel.fi/hki/Rakpa/fi/Staran+esittely>>. Päivitetty 6.2.2013 Luettu 19.2.2013
- 2 Toimintakertomus. 2012. Lönnberg Painot Oy Stara 2013
- 3 Hotinen, Jari. 2012. Laserkeilauksen hyödyntäminen Helsingin kaupungin organisaatioissa. Insinööritö. Metropolia ammattikorkeakoulu
- 4 Cronvall, Timo, Kråknäs, Pasi & Turkka, Tommi. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. Liikennevirasto
- 5 Santaluoto, Olli. 2012. 3D-skannaukseen perehtyminen. Insinööritö, Metropolia ammattikorkeakoulu
- 6 Staran organisaatio. 2013. Verkkodokumentti. Stara.  
<<http://helmi/Stara/organisaatio/Sivut/Organisaatiokaviot/Organisaatiokaavio.jpg>>
- 7 Rieglin laserskannerit. Powerpoint esitys. Nordic Geocenter.
- 8 Ullrich, Andreas 28.2.2012. Insight Riegl's Echo Digitizing technology. Powerpoint.
- 9 Täysi aallonmuoto 2012. Blogi-kirjoitus. Nordic Geocenter
- 10 Ilmatieteen laitos. Pakkasen purevuus. Verkkodokumentti  
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/800> > Luettu 20.6.2013
- 11 Joala, Vahur. 2006 Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkodokumentti. <<https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>> Päivitetty 30.11.2006 Luettu 3.3.2013
- 12 STUK. 2013. Laserlaitteiden turvallisuusluokat. Verkkodokumentti. <[http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/laserit/fi\\_FI/laser\\_luokat/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/laserit/fi_FI/laser_luokat/)> Päivitetty 17.5.2013. Luettu 7.7.2013
- 13 IP-luokitus. Verkkodokumentti < <http://fi.wikipedia.org/wiki/IP-luokitus>> Päivitetty 8.5.2013
- 14 Kråknäs, Pasi, kehitysinsinööri DI. VR-Track. Haastattelutilaisuus. 8.4.2013

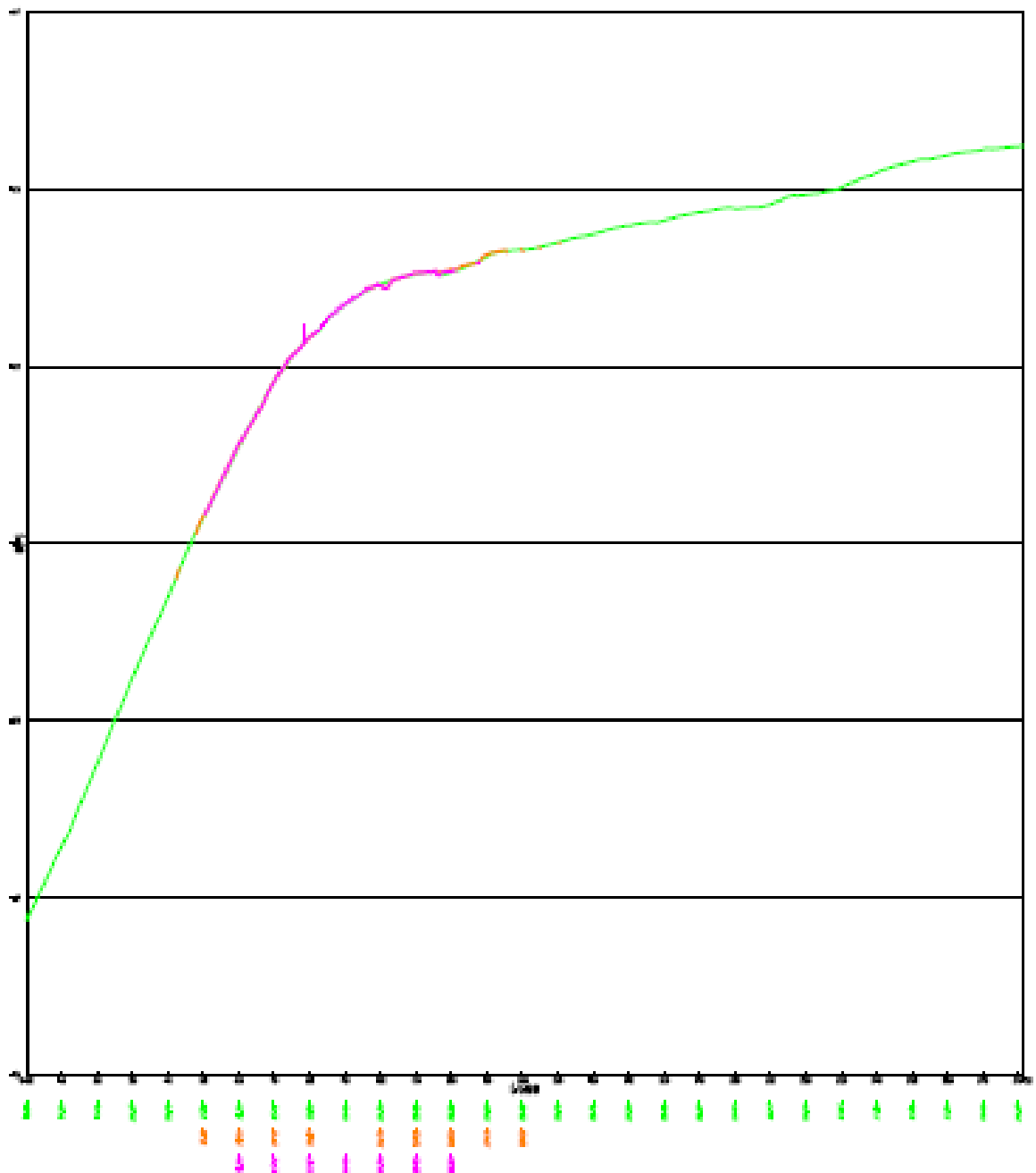
- 15 Torri, Päivikki. Projektipäällikkö, Finnmap Infra. Haastattelutilaisuus 19.4.2013
- 16 Pötrönen, Jani. Meritaito. Haastattelutilaisuus 19.4.2013
- 17 Wilska, Pekka, mallinnusinsinööri. Helsingin Rakennusvirasto. Haastattelutilaisuus 18.4.2013
- 18 Heinonen, Hannu, Heiska Nina. Nordic Geocenter. Haastattelutilaisuus 26.2.2013, 31.5.2013
- 19 Heiska, Nina. Nordic Geosystems. Sähköpostiviesti 6.8.2013
- 20 Joala, Vahur. Leica Geosystems. Haastattelutilaisuus 11.3.2013, 5.6.2013
- 21 Joala, Vahur. Leica Geosystems. Sähköpostiviesti 5.8.2013
- 22 Halkola, Hannu Geopalvelun yksikön johtaja. Määttä, Ilkka, palvelupäällikkö. Kannosto, Mikko, palvelupäällikkö. Stara. Aloituspäätös Ilmala 5.2.2013
- 23 Halkola, Hannu Geopalvelun yksikön johtaja. Määttä, Ilkka, palvelupäällikkö. Kannosto, Eero, palvelupäällikkö. Stara. Välipäätös Pitäjänmäki 16.5.2013
- 24 Joala, Vahur. 2011. Verkkodokumentti. Laserkeilaimen hankinta ei ole yhden parametrin ostamista. < [https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXow-IOTQzN2U2OWItNWE3ZC00MGYxLTg1NGMtNGJjNWFMmY2VIY2Ni/edit?hl=en\\_US&pli=1](https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXow-IOTQzN2U2OWItNWE3ZC00MGYxLTg1NGMtNGJjNWFMmY2VIY2Ni/edit?hl=en_US&pli=1)> 2011. Luettu 2.6.2013
- 25 Riegl. VZ-400 Data sheet. 1.2.2013
- 26 Leica. P-20 Data sheet. 2013
- 27 Pikkupirtti, Niko. 2013. Maalaserkeilaimen käyttö maa-ainesalueilla suoritettavissa mittauksissa. Insinööriyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu
- 28 Riegl VZ-400. 2013. Verkkodokumentti. < <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>>. 7.7.2013
- 29 Leica P20. 2013. Verkkodokumentti. <[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20\\_101869.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20_101869.htm)>. 8.7.2013
- 30 Shan, Jie. Toth, Charkes K. 2008. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. CRC Press.



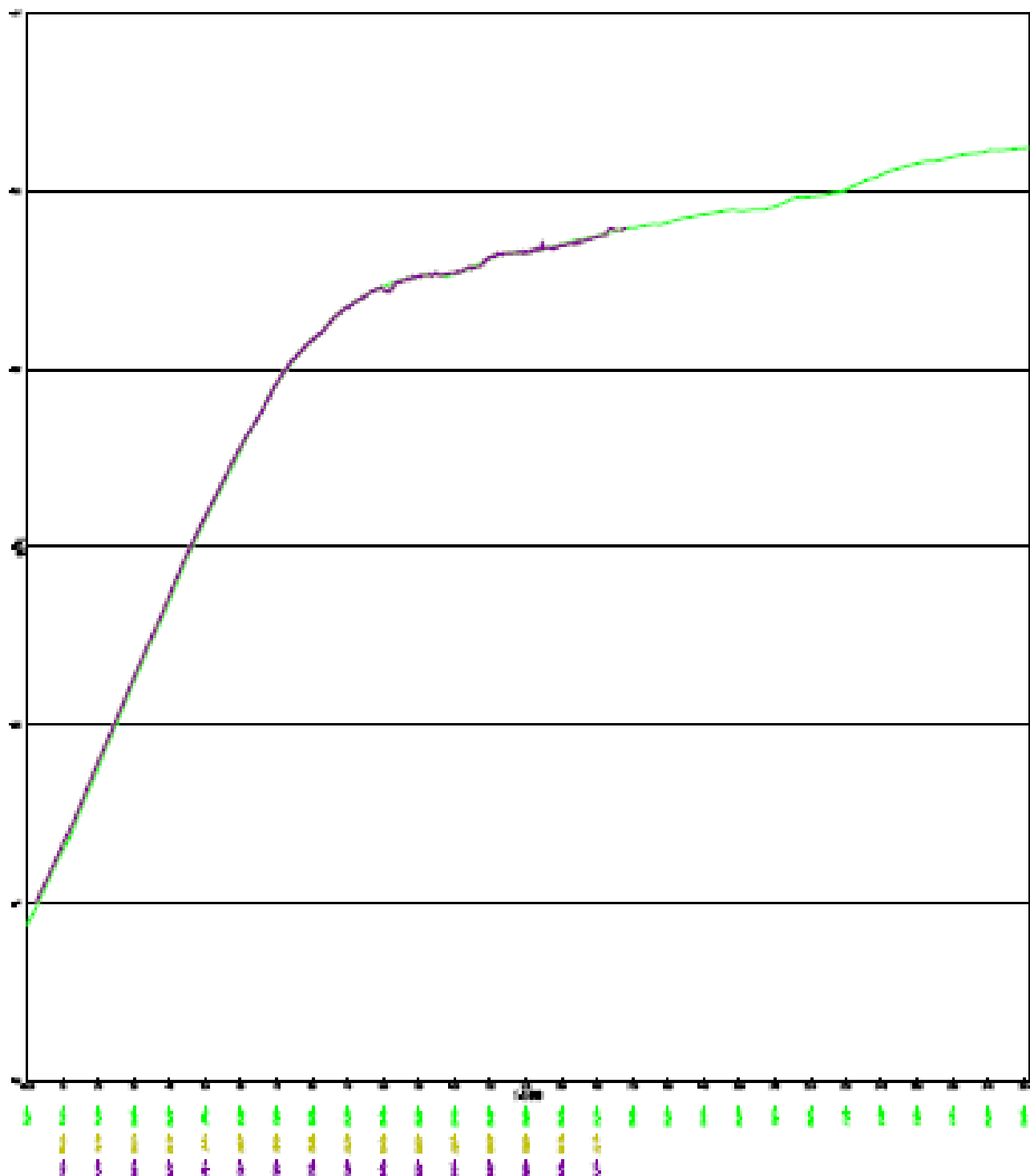


## Atomitien pituuspoikkileikkaukset

Leica. Vihreällä esitetään takymetriaineisto, oranssilla kuivalla asvaltilla saatu aineisto ja aniliinipunaisella märältä asvaltilta kerätty aineisto. Pystyakselin väli esittää 1 cm:ä maastossa.



Riegl. Vihreällä esitetään takymetriaineisto, sinapinkeltaisella kuivalla asvaltilla saatu aineisto ja violetilla märältä asvaltilta kerätty aineisto. Pystyakselin väli esittää 1 cm:ä maastossa.



Rieglin, Leican ja takymetrin aineisto yhdistettynä.

